

República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) (21) **PI 0502093-0 A**



(22) Data de Depósito: 27/04/2005  
(43) Data de Publicação: 12/12/2006  
(RPI 1875)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>.:  
G01K 17/00

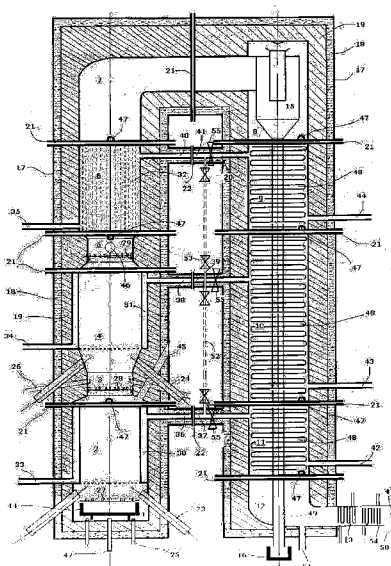
(54) Título: **CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO E PROCESSO PARA TRATAR DESCARTES, DEJETOS, RESÍDUOS SÓLIDOS E FLUIDOS E COLETAR CINZAS E ESCÓRIAS**

(71) Depositante(s): Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ (BR/RJ)

(72) Inventor(es): Carlos Eduardo Coutinho Gil Nunes, Rodrigo Medeiros de Lima, Abraham Zakon

(74) Procurador: Bernardo Atem Francischetti

(57) Resumo: "CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO E PROCESSO PARA TRATAR DESCARTES, DEJETOS, RESÍDUOS SÓLIDOS E FLUIDOS E COLETAR CINZAS E ESCÓRIAS". A presente invenção se refere a um equipamento termoquímico, composto de conjuntos monoblocos e seções removíveis, versátil, descrito pela Figura 1, possuindo, pelo menos, duas colunas calorimétricas interligadas por flanges (21) no topo e lateralmente por conexões ou flanges das linhas de vapor (22); a primeira delas para incinerar descartes, dejetos, resíduos sólidos e fluidos de qualquer origem, pós-queimar suas emissões gasosas e co-gerar vapor d'água para fins de aquecimento, esterilização e termoeletrônicos; a segunda coluna para superaquecer o vapor oriundo da anterior e retirar partículas suspensas nos gases, ambas possibilitando a coleta das escórias e cinzas cadentes e volantes para reciclagem em materiais de construção e produtos químicos, sendo útil em usinas de lixo, estações rodoviárias, ferroviárias, portuárias, instalações hospitalares, militares, laboratoriais, industriais ou comerciais, comunidades urbanas e rurais, carentes e desenvolvidas, e para pesquisas científicas e tecnológicas, e que possui características construtivas típicas de incineradores, caldeiras, autoclaves e ciclones comerciais, em qualquer escala operacional, que possibilita determinar o poder calorífico de materiais e fluidos nele queimados; e garantir a queima completa dos descartes, dejetos e resíduos sólidos e fluidos, para reduzir os riscos da liberação de emissões gasosas nocivas.



## **RELATÓRIO DESCRITIVO**

### **CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO E PROCESSO PARA TRATAR 5 DESCARTES, DEJETOS, RESÍDUOS SÓLIDOS E FLUIDOS E COLETAR CINZAS E ESCÓRIAS**

#### **1 - Campo da invenção**

A presente invenção se refere a um calorímetro incinerador co-gerador de vapor com  
10 ciclone interno e o processo que compreende sua utilização. Mais especificamente, o referido  
equipamento é útil para tratar termicamente descartes, dejetos, resíduos sólidos e fluidos de  
qualquer origem, co-gerar vapor d'água saturado e superaquecido e coletar cinzas cadentes e  
volantes mais escórias. O equipamento, aqui descrito, foi concebido, inicialmente, para  
instalações de pequeno porte, e pode ser dotado de recursos construtivos e instrumentais de  
15 controle que possibilitam a determinação do poder calorífico dos resíduos sólidos secos ou  
úmidos (inclusive industriais perigosos), e a execução da coleta das respectivas cinzas  
cadentes e volantes, escórias ou clínqueres resultantes, para fins de aproveitamento posterior.

#### **2 - Antecedentes da invenção**

São conhecidos da técnica diversos tipos construtivos de calorímetros laboratoriais, os  
20 quais podem ser encontrados na literatura patentária e também na literatura técnica de físico-  
química. Esses calorímetros laboratoriais utilizam amostras pequenas (da ordem de gramas ou  
mililitros) ou microscópicas, para sólidos e líquidos, ou baixos valores de vazões de gás em  
calorímetros a fluxo.

A literatura patentária aponta para a continuidade dessa tendência. Entretanto,  
25 surgiram alguns exemplos de calorímetros de maiores capacidades e tamanhos, que são  
aplicáveis a outros tipos ou volumes de amostras, existindo procedimentos experimentais que  
permitem determinar o poder calorífico de amostras de substâncias simples ou compostas, de  
artefatos simples ou complexos, e de corpos humanos ou de animais. Para amostras simples  
ou compostas, de pequena massa ou volume, existem diversos tipos de calorímetros  
30 laboratoriais, dentre os quais:

1) isotérmicos ou não isotérmicos (com relação à variação de temperatura no fluido  
calorimétrico);

2) adiabáticos ou não adiabáticos (relativo às trocas térmicas com a vizinhança); e

3) a fluxo constante ou com camisa fechada (com relação ao reservatório térmico).

Os principais tipos construtivos de calorímetros empregados na Ciência dos Materiais ou para finalidades tecnológicas químicas, que são encontrados na literatura técnico-científica editada comercialmente são:

- 5 (a) calorímetro isotérmico ou de mistura de líquido;
- (b) calorímetro de gelo;
- (c) calorímetro não-isotérmico;
- (d) calorímetro a pressão constante;
- (e) calorímetro adiabático a vácuo;
- 10 (f) calorímetro de chama; (g) bomba calorimétrica; e
- (h) calorímetro a fluxo constante ou contínuo (calorímetro *Junker*).

Quase todos os calorímetros comerciais operam com sistemas de reação ou com propriedades físicas de sistemas não-químicos. Algumas configurações comerciais são utilizadas para determinar com precisão as propriedades térmicas de substâncias não-reagentes para um amplo intervalo de temperaturas.

### **3 - Tendências de Criação e Concepção de Calorímetros**

O interesse no uso dos efeitos térmicos como uma ferramenta de diagnóstico provocou um desenvolvimento crescente nos procedimentos que permitem determinações rápidas, tais como: 1) a Análise Térmica Diferencial (DTA); e 2) a Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC), com alguma perda de precisão e definição. A calorimetria é usada para determinar a pureza das substâncias, medir a potência e conteúdo energético do laser, e na investigação de fenômenos nucleares. O principal crescimento da instrumentação comercial da calorimetria ocorreu nas aplicações das análises de rotina e caracterização rápida de materiais.

Desde os anos 80, algumas tendências na calorimetria, referentes aos calorímetros de varredura diferencial e a aparatos similares, visaram torná-la mais precisa, sendo, por isso, suplementada por outros procedimentos dinâmicos que empregaram dispositivos rápidos de aquisição e processamento de dados. Cresceu a ênfase em materiais e processos biológicos como assuntos de estudos calorimétricos. Admite-se, diante da necessidade de tornar mais econômico o uso da energia, que será desejável empregar fontes de materiais que sejam diferentes ou possuam menor poder calorífico e que tenham sido usados no passado. Os “calorímetros de varredura diferencial” e os “calorímetros respiratórios” também ocorrem com muita frequência sem diferenças notáveis nos respectivos nomes das diversas patentes.

“Bombas calorimétricas” foram patenteadas de acordo com essa tendência de uso de nomes genéricos. Assim, várias denominações e tipos diferentes de calorímetros são encontrados na literatura patentária, os quais apresentam objetivos diferenciados dos relacionados à presente invenção, ou seja, ao calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno e ao seu processo para tratar descartes, dejetos, resíduos sólidos e fluidos e tratar cinzas e escórias.

#### **4 - Objetivos da invenção**

O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno da presente invenção visa, simultaneamente:

1º - permitir a aquisição de informações experimentais em escala laboratorial, de bancada, piloto ou semi-industrial, para a determinação do poder calorífico de materiais e fluidos nele queimados, empregando amostras medindo algumas dezenas de litros ou pesando alguns quilogramas;

2º - possibilitar a coleta das cinzas cadentes e volantes, escórias ou clínqueres, após intervalos operacionais regulares, para estudos posteriores de reciclagem na fabricação de materiais de construção simples ou compósitos, incluindo-se as variedades cerâmicas, aglomerantes minerais cimentícias, refratárias, vítreas e metálicas;

3º - garantir a queima completa e segura dos dejetos secos ou úmidos, inclusive fluidos porventura acumulados em partes do material coletado para incineração, de modo a reduzir os riscos da liberação de emissões gasosas nocivas;

4º - co-gerar vapor d'água para fins de aquecimento, secagem, esterilização e termoeletrônicos com vistas a incrementar a sustentabilidade da incineração quanto ao seu potencial termoeletrico, complementar às rotas de co-processamento mencionadas,

5º - avaliar a sustentabilidade da incineração quanto ao seu potencial termo-energético, e quanto ao aproveitamento seguro das cinzas, escórias resultantes da sua queima ou de clínqueres obtidos por co-processamento no seu interior, para a fabricação posterior de materiais de construção, e, ainda, garantir a combustão completa dos materiais e fluidos processados em seu interior, podendo ser acoplado a outros equipamentos termoquímicos ou térmicos em instalações industriais, comerciais e rurais, de pesquisa científica ou tecnológica, em qualquer capacidade.

A reunião de etapas de incineração, pós-combustão, co-geração de vapor d'água, remoção de cinzas cadentes e volantes mais escórias e superaquecimento do vapor gerado para fins termoeletrônicos, possibilitando a determinação do poder calorífico das substâncias

incineradas, num só processo, que compreende o uso do equipamento da presente invenção, constitui um conjunto de vantagens do mesmo sobre os congêneres conhecidos da técnica.

### **5 - O setor técnico da invenção**

O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno envolve, simultaneamente, quatro setores técnicos tradicionais, distintos e complementares entre si: 1º - calorímetros, 2º - incineradores; 3º - caldeiras ou plantas geradoras e co-geradoras de vapor d'água industrial, 4º - ciclones, pois incorpora várias características construtivas e operacionais típicas desses equipamentos, o que resulta num possível novo setor técnico.

Os calorímetros são utilizados para determinar o poder calorífico resultante da incineração de resíduos sólidos secos ou úmidos (inclusive industriais perigosos) representativos dos dejetos descartados por comunidades urbanas, industriais, comerciais, rurais, militares e veículos de transporte coletivo. Os incineradores destroem termicamente os descartes, dejetos e resíduos sólidos secos ou úmidos (inclusive industriais perigosos) representativos dos dejetos descartados por entidades e comunidades urbanas, industriais, comerciais, rurais, militares e veículos de transporte coletivo. As caldeiras ou plantas geradoras de vapor d'água industrial e os co-geradores podem produzir vapor saturado e superaquecido. Os ciclones servem para classificar as partículas de sólidos existentes numa suspensão gasosa e para a remoção de cinzas volantes em correntes ou emissões gasosas em altas temperaturas na entrada de uma coluna de superaquecimento de vapor saturado.

O setor técnico da fabricação de calorímetros abrange os aparatos capazes de determinar o poder calorífico de substâncias simples ou composta, produtos manufaturados e descartes, dejetos ou rejeitos sólidos de natureza industrial e urbana, através de amostras macroscópicas de peso ou volume médio, que pesem entre algumas unidades ou dezenas de quilogramas, ou ocupem volumes comportando entre algumas unidades ou dezenas de litros distintas, que se diferenciam das amostras macroscópicas de pequeno porte, as quais, geralmente, pesam poucas gramas ou ocupam alguns mililitros de volume, essas últimas freqüentes nos modelos clássicos ou convencionais e mais recentes, que foram patenteados no mundo inteiro.

O setor técnico dos incineradores para descartes, dejetos e resíduos sólidos (lixos) e similares de qualquer origem, pois a incineração está condicionada em algumas legislações e normas técnicas a temperaturas mínimas de 1000°C, sendo obrigatória também a pós-queima

das suas emissões gasosas a 1200°C, com o intuito de promover uma completa destruição térmica de agentes químicos potencialmente tóxicos ou poluentes.

O setor técnico da co-geração de vapor para fins de aquecimento ou conversão em energia elétrica envolve as concepções de fornalhas em caldeiras flamo-tubulares e aquo-  
5 tubulares para incinerar os dejetos de origens diversas e gerar vapor saturado e superaquecido em seus distintos compartimentos previstos para tais finalidades, visando a maximização do aproveitamento energético das queimas efetuadas.

O setor técnico dos ciclones na presente invenção para o objetivo da coleta e remoção de cinzas volantes em correntes ou emissões gasosas, refere-se ao uso de um ciclone interno  
10 para coletar as cinzas volantes, embora seja prática usual empregar esses artefatos após a saída de emissões gasosas do equipamento principal.

#### **6 - Breve descrição das patentes consultadas**

O pedido de patente FR 2 686 146 A1, publicado em 16 de julho de 1993, depositado por Enteprise Generale de Chauffage Industriel Pillard (S.A.), intitulado “*Incinerateurs de*  
15 *déchets au chambres verticales multiples*” (Incinerador de dejetos com câmaras verticais múltiplas), descreve um modelo que apresenta duas câmaras, sendo a primeira para queimar dejetos sólidos volumosos e a segunda para a pós-combustão dos gases resultantes das reações químicas ocorridas na anterior. O equipamento francês visa apenas incinerar resíduos sólidos em escala industrial. Em contraste, o equipamento da presente invenção incorpora o  
20 objetivo inicial de determinar o poder calorífico em escalas laboratorial (bancada e piloto) e semi-industrial, podendo, também, ser adotado em escala industrial. Além disso, enquanto o equipamento do pedido francês emprega câmaras simples de combustão, o equipamento da presente invenção (calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno e processo para tratar descartes, dejetos, resíduos sólidos e fluidos e tratar cinzas e escórias)  
25 incorpora uma camisa calorimétrica na câmara de combustão primária para determinar o poder calorífico da incineração dos resíduos sólidos, uma segunda camisa calorimétrica na câmara de pós-combustão e uma seção da câmara de co-geração calorimétrica instalada após o câmara de pós-combustão, para determinar o poder calorífico das emissões gasosas totais da instalação durante a operação.

30 O documento de patente ES 2178007T, publicado em 16 de dezembro de 2002, depositado por Aalborg en Teknik AS, intitulado “*Solid fuel fired boiler plant and furnace*

*unit and flue gas unit for use in such a boiler plant*” (Usina geradora de vapor à base de combustível sólido e sua unidade de emissão gasosa para uso nesta caldeira), descreve a produção de vapor d’água industrial, consumindo combustível sólido tal como madeira, palha, carvão e lodo (biológico) e aproveitando o calor de combustão liberado em sua fornalha. Nele o transporte da unidade geradora de vapor é facilitado devido à montagem das seções de combustão e de emissões gasosas ser feita num só conjunto, o que facilita todas as operações de construção mecânica num só local, dispensando etapas de montagem de partes, peças e componentes no local de sua operação, e facilitando o seu transporte de modo a se realizar apenas um embarque. Em contraste, o equipamento da presente invenção (calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno) tem um formato global em “U” invertido, com partes destacáveis ou removíveis que facilitam o transporte e a manutenção. Além disso, outra diferença existente entre o equipamento descrito nesse documento e o calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno da presente invenção é que aquele possui apenas um queimador, enquanto este apresenta dois queimadores na seção da câmara de incineração e mais dois na seção da câmara de pós-combustão (totalizando quatro). O citado documento revela, ainda, que na parte inferior da primeira parede lateral existe uma abertura para a introdução de combustível sólido na seção de combustão e uma grelha situada na sua parte inferior. A dita abertura forma uma passagem entre um dispositivo de alimentação (não apresentado) para o combustível sólido o qual deve ser preferencialmente uma tremonha, como elemento dispersor, ou um dispositivo de alimentação pneumática que pode ser usado com diferentes tipos de grelha, tal como grelha móvel, grelha em degraus, grelha vibratória, grelha de empurrão ou algum outro tipo, configurando-se uma operação contínua do referido equipamento. No caso do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno da presente invenção, a alimentação é descontínua e manual, assim como a remoção das cinzas cadentes após cada ciclo operacional de incineração.

O documento de patente GR 3033354T, publicado em 29 de setembro de 2000, depositado por Aalborg Marine Boilers AS, intitulado “*Marine Boiler*” (Caldeira marítima) trata de uma caldeira para gerar vapor d’água industrial que contém uma parede de forno que define (apenas) uma fornalha. O referido equipamento também compreende uma parede envoltória ou de cobertura que envolve a parede do forno, ambas definindo um interespaço anular, possuindo tubos geradores de vapor d’água industrial instalados na parede da fornalha e na parede de cobertura envolvente, que estão conectados com vasos substancialmente

anulares ou cilíndricos no topo e no fundo. O referido equipamento também compreende uma abertura para emissões gasosas na parede da fornalha de modo a estabelecer uma conexão oriunda da fornalha para o interespaço anular mencionado acima. No caso do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno da presente invenção, existem duas fornalhas, sendo a primeira referente à seção da câmara de incineração e a segunda à seção da câmara de pós-combustão. O citado documento inclui um queimador no topo que direciona a chama vertical para o fundo da caldeira marítima, sendo que o calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno da presente invenção possui dois queimadores inclinados na seção da câmara de incineração, e mais dois inclinados na seção da câmara de pós-combustão, totalizando quatro, os quais direcionam suas chamas para o eixo central das suas respectivas câmaras de queima com o intuito de induzir a pluma da chama e as emissões gasosas resultantes em direção ao topo da respectiva coluna de incineração e co-geração.

O estado da técnica relativo à presente invenção contempla predominantemente os calorímetros, incineradores, caldeiras, plantas geradoras ou co-geradoras de vapor. Entretanto, não foram encontrados, até a presente data, relatos de equipamentos deste tipo que compreenda qualquer modalidade de ciclone específico para coleta de cinzas volantes no interior dos tipos de equipamentos mencionados, e particularmente aplicável em colunas de superaquecimento de vapor.

A patente norte-americana US4516989, publicada em 14 de maio de 1985, depositada por Shell Oil Co., intitulada "*Process for removing fly ash particles from a gas at elevated pressure*" ("Processo para remoção de partículas de cinzas volantes oriundas de um gás sob pressão elevada"), trata do uso de um ciclone para a purificação de um gás de síntese cru (impuro) sob pressão elevada. Neste equipamento, as cinzas volantes são separadas e descarregadas num conjunto de três vasos interconectados e superpostos verticalmente. A concepção do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno da presente invenção, por outro lado, é pertinente a gases sob altas temperaturas, independentemente da pressão operacional, e com descarga de sólidos por influência da gravidade, sob pressão atmosférica, ao longo do tubo vertical que atravessa toda a extensão da coluna de superaquecimento.

A patente européia EP 0748983, depositada por Finmeccanica Spa (IT) em 19 de dezembro de 1996, intitulada "*A waste incineration plant with dust collection and removal of acid compounds, particularly HCl*" (Uma planta de incineração de descartes com coleta de pó



e remoção de compostos ácidos, particularmente HCl”), inclui uma câmara de combustão (fornalha) e uma caldeira de recuperação de calor (ou co-geração) e um ciclone axial no percurso das emissões gasosas entre a câmara de combustão e a caldeira. O referido ciclone captura uma considerável parcela das cinzas volantes e do material básico para incineração para retorná-los à câmara de combustão. A configuração apresenta no citado documento difere do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno da presente invenção, pois o mesmo possui duas fornalhas em suas respectivas duas câmaras, calorimétricas de incineração e pós-combustão, sem retorno de cinzas cadentes ou volantes, as quais sendo coletadas destinam-se à remoção do ambiente interno para uso externo e posterior, sendo que o ciclone separador de cinzas volantes está instalado após a primeira coluna de incineração e co-geração, na entrada da segunda coluna de superaquecimento de vapor saturado.

A patente norte-americana US 4,869,597, depositada por Daniel E. Christopher, publicada em 26 de setembro de 1989, intitulada “*Calorimeter*” (Calorímetro) refere-se a um modelo do tipo “de escoamento de fluido” e inclui uma câmara em comunicação com um meio afluente capaz de aportar num escoamento permanente. O calorímetro também inclui um trocador de calor que possui um líquido escoando através do seu interior em escoamento permanente e constituído de modo a liberar o agente térmico oriundo da câmara para o outro líquido à medida que este escoar através do trocador de calor. O calorímetro descrito também é capaz de medir um aumento na temperatura de um ponto inicial até um ponto secundário, à medida que o líquido escoar em regime permanente através do trocador de calor. Como resultado, o calorímetro permite medir o poder calorífico de um meio ou agente ou fonte de aquecimento a intervalos pré-selecionados de modo contínuo.

A patente norte-americana US 5,876,118, depositada por Perkin-Elmer Corporation, publicada em 02 de março de 1999, intitulada “*Calorimeter having rapid cooling of a heating vessel therein*” (Calorímetro dotado de resfriamento rápido para uma câmara de aquecimento interno) descreve um dispositivo para resfriamento rápido para uma câmara de aquecimento interno. Uma camisa circunda a parede da câmara e uma divisória entre ambas define uma entrada plena adjacente à camisa e a parede da câmara e um espaço vazio adjacente à parede da câmara. Um gás pressurizado para resfriamento é injetado na entrada plena após o término do aquecimento. A divisória possui diversos orifícios pelos quais se injeta o gás para atingir e resfriar a parede da câmara. O gás é descarregado do espaço vazio através de um duto para

saída plena situado no final da parede da câmara. A pluralidade de orifícios é distribuída num modelo de densidade variável ao longo da divisória de modo a promover um efetivo resfriamento uniforme da parede da câmara pelo gás injetado.

A patente norte-americana US 6,464,391, depositada pelo governo dos Estados Unidos da América, publicada em 15 de outubro de 2002, intitulada “*Heat release rate calorimeter for milligram samples*” (Calorímetro para medir velocidades das emissões térmicas em amostras miligramétricas), descreve um aparato destinado a determinar velocidades de emissão térmica a partir de amostras muito pequenas (da ordem de 10 miligramas) sem a necessidade de separar e simultaneamente medir a velocidade de perda mássica da mostra e o calor de combustão dos gases combustíveis produzidos durante o processo de geração de combustível. A amostra é decomposta termicamente numa câmara de pirólise de pequeno volume. Os gases combustíveis resultantes são imediatamente purgados por meio de uma corrente de gás inerte a partir da câmara de pirólise para um forno de combustão num escoamento tipo pistonado. Esse escoamento pistonado sincroniza substancialmente os gases combustíveis emergentes com a velocidade de perda mássica da amostra. O oxigênio adicionado à corrente de gás combustível é medido antes de entrar no forno de combustão, onde ocorrerá a oxidação completa dos gases combustíveis. O efluente gasoso do forno é analisado para determinar a quantidade de oxigênio consumido por unidade de tempo e a velocidade de emissão térmica é computada sem a necessidade de medir separadamente a velocidade de perda mássica da amostra.

A patente norte-americana US 5,322,360, depositada por Leco Corporation, publicada em 21 de junho de 1989, intitulada “*Isothermal Calorimeter*” (Calorímetro isotérmico), descreve como se determinar o poder calorífico de uma amostra com base na diferença de temperatura, medida numa base de tempo real, entre a temperatura da água num recipiente (balde) contendo a amostra dentro de uma bomba calorimétrica convencional e a temperatura da água de um reservatório mantido substancialmente na temperatura ambiente. A água do reservatório é circulada pela bomba através de um trocador de calor, que é uma camisa ao redor do balde, e atrás do reservatório, num esforço de manter a água no sistema sob temperatura ambiente. Emprega-se um método para calcular o aumento corrigido da temperatura com base na Lei de Newton para o resfriamento e para o cálculo do poder calorífico superior da amostra (“*Gross calorific value*”).

A literatura técnica ou patentária, portanto, não revelou, até a presente data, relatos de

qualquer modalidade de calorímetro de incineração ou calorímetro de co-geração de vapor ou calorímetro aplicável a lixo ou resíduos sólidos diversos com coleta interna de cinzas cadentes e escórias ou ciclone interno para coleta de cinzas volantes.

### **7 - Descrição introdutória da figura da invenção**

5 O calorímetro-incinerador-co-gerador de vapor com ciclone interno da presente patente de invenção (Figura 1) é constituído por, pelo menos, duas colunas calorimétricas paralelas, interligadas entre si pelo topo e lateralmente por linhas inferiores de vapor, e contendo cada coluna cinco partes próprias e distintas, formadas por conjuntos monoblocos e seções, removíveis e acopláveis, concebidos com pouca variedade geométrica para prover 10 simplicidade na sua construção e facilidades no diagnóstico das causas de problemas operacionais e acesso durante a manutenção. As colunas calorimétricas paralelas cilíndricas são interligadas por flanges (21) no topo e lateralmente por conexões ou flanges das linhas de vapor (22) entre as mesmas.

A primeira coluna calorimétrica apresentada do calorímetro incinerador co-gerador de 15 vapor com ciclone interno (Figura 1) inclui seções calorimétricas para incineração, pós-queima de emissões gasosas e co-geração de vapor, e um cinzeiro interno para cinzas cadentes e escórias (14).

A segunda coluna calorimétrica do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno (Figura 1) possui seções calorimétricas de superaquecimento para as correntes 20 de vapor oriundas da primeira coluna, e um ciclone interno para remover partículas sólidas dos gases que entram nesta, e são descarregadas num cinzeiro externo para cinzas volantes (16). A segunda coluna calorimétrica possui, ainda, uma seção de saída das emissões gasosas da coluna de superaquecimento (12) em curva de noventa graus, a qual inclui uma serpentina de aquecimento do ar primário para os queimadores (54) e uma serpentina de aquecimento de 25 água (13).

### **8 – Justificativas de mercado para a invenção**

O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno da presente invenção ampara-se nas seguintes justificativas de mercado para sua construção e, também, seu uso comercial e sanitário:

30 Existe a possibilidade de vários descartes e rejeitos ou resíduos serem empregados como fontes de energia, sendo possível medir suas capacidades caloríficas, simultaneamente

ao processo de incineração, para fins experimentais em escala laboratorial, bancada, piloto ou semi-industrial: resíduos de madeira em indústrias de celulose, serrarias, fábricas de madeira de compensado, resíduos sólidos municipais, restos de colheitas pré-processadas como o bagaço-de-cana, espigas de milho, restos e cascas de sementes e palhas, estrumes e esterco de animais principalmente dos currais de alimentação.

Os descartes combustíveis compartilham algumas características em comum: são sólidos, higroscópicos, possuem teores modestos de carbono em comparação ao carvão ou óleos minerais e vegetais e possuem baixos valores de densidade aparente, e são combustíveis de interesse local e regional, cuja economia do seu uso se baseia na substituição de combustíveis fósseis para evitar a submissão aos mecanismos formadores de preços de mercado destes últimos.

O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno serve também para determinar o poder calorífico dos resíduos secos ou úmidos (inclusive industriais perigosos), em processos específicos ou simultâneos de incineração e co-geração de vapor e possibilita coletar as cinzas ou escórias produzidas, que podem servir de insumos para setores industriais dos materiais de construção.

#### **9 – Justificativas tecnológicas para a invenção**

O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno da presente invenção se ampara nas seguintes justificativas tecnológicas para sua construção e usos comercial e sanitário:

O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno possibilita medir o poder calorífico dos resíduos utilizando-se de pouca instrumentação e modelagem matemática de baixa complexidade, já que o modelo admite fluxo constante do fluido calorimétrico e perda térmica para o exterior desprezível.

A composição dos resíduos sólidos urbanos ou municipais varia de acordo com a cidade, por estação do ano, e segundo as condições do tempo. Cada cidade tem seus hábitos culturais e, portanto, alimentares, mesmo que a globalização popularize hábitos adicionais a cada segmento sócio-cultural, o que torna necessário avaliar o poder calorífico dos resíduos urbanos produzidos por cada comunidade ou parcela desta, para fins de projeto de incineradores municipais ou industriais.

A incineração é um processo de redução do peso, volume e das características de periculosidade dos resíduos, com a conseqüente eliminação da matéria orgânica e

características patogênicas, através da combustão controlada. Nessa tecnologia ocorre a decomposição térmica via oxidação a altas temperaturas da parcela orgânica dos resíduos, transformando-a em uma fase gasosa e outra sólida (contendo cinzas e escórias), reduzindo o volume, o peso e as características de periculosidade dos resíduos e a disponibilização de calor.

Já existem demandas legais para a incineração dos resíduos sólidos incluir a queima complementar das emissões gasosas daquela combustão primária, sendo as temperaturas da pós-combustão superiores às empregadas na primeira câmara, resultando em emissões gasosas com conteúdo térmico apreciável, que pode ser aproveitado posteriormente.

Os resíduos do processamento de sementes e de outros setores da agricultura incluem bagaço-de-cana, palha de arroz, cascas de arroz, sementes ou carcaças de amendoim, refugos da debulha do algodão, espigas de milho, capim e gramíneas, e caules, hastes ou talos diversos. As variações nos materiais das plantas são oriundas do tipo de vegetal e tipo de seu processamento. As variações nos tipos de esterco são decorrentes do tipo de animal (ex: gado vacum, cavalos, camelos, ovelhas, cabras, porcos, galinhas) e idade de cada lote, sendo que existe uma tendência para seu aproveitamento em digestores anaeróbios com a finalidade de produzir gás combustível, porém, nos casos de grande produção de resíduos do processamento dos produtos agropecuário, pode ser mais vantajoso incinerar diretamente ao invés de se adotar uma rota indireta de queima.

A maioria dos resíduos é queimada diretamente com pouco, senão algum, pré-tratamento, e, por isso, a consideração primária deve ser o uso dos resíduos como combustível. As rotas da combustão são críticas para a conversão e processos de recuperação de energia. O processo de queima segue as seguintes etapas sequenciais para qualquer partícula de combustível:

- (a) aquecimento inicial;
- (b) secagem;
- (c) pirólise produtora de voláteis, alcatrões e carvão ou coque; e, finalmente
- (d) combustão.

A pirólise é a etapa mais crítica. Temperaturas maiores que 420K (147°C) são necessárias para a secagem e 550K (277°C) é a mínima para ocorrer a pirólise. Os voláteis produzidos queimam em chamas de combustão com desprendimento rápido de calor. A oxidação do carvão ocorre na forma de combustão ardente ou ao rubro, com liberação mais

lenta de calor.

A avaliação dos descartes produzidos na incineração nem sempre ocorre em termos do seu potencial de consumo por segmentos das indústrias químicas, e o uso de um incinerador possibilitará a formação de quantidades adequadas de descartes sólidos e emissões gasosas para o estudo técnico-econômico do seu aproveitamento, e o modelo da presente invenção 5 permitirá correlacionar sua produção com as variações climáticas e culturais de cada comunidade pesquisada, com vistas a otimizar o seu dimensionamento e a sua operação em cada local.

O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno possibilita, 10 também, gerar cinzas ou escórias, oriundas da queima dos descartes urbanos, que poderão ser caracterizadas tecnologicamente para fins de reciclagem ou incorporação no leque de insumos de segmentos correlatos das indústrias químicas, cerâmicas e de materiais de construção.

O uso do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno gera emissões gasosas, que poderão ser também caracterizadas tecnologicamente, a fim de serem 15 recicladas e usadas como fertilizante gasoso em cultivo de plantas e reflorestamento.

A utilização do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno é uma ferramenta útil para o tratamento ou o gerenciamento de qualquer resíduo, pois possibilita conhecer ou prever as bases científicas fundamentais para o seu processamento em escala industrial ou municipal.

20 O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno é um aparato de pequeno porte, adequado para pesquisa laboratorial, destinado a avaliar as possibilidades de produção, por co-geração de vapor, destinado a alimentar sistemas compatíveis de turbinas destinadas a movimentar geradores de energia elétrica, para escala local ou macro-escala de serviços públicos em função dos resíduos sólidos urbanos e similares que estejam sendo 25 cogitados para serem incinerados, bem como atender essas demandas de incineração em unidades navais marítimas, lacustres ou fluviais, inclusive de plataformas de petróleo.

A macro-concepção do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno reveste-se de diversas características e componentes típicos das caldeiras e geradores de vapor aquo-tubulares e flamo-tubulares que operam com combustíveis sólidos, líquidos e 30 gasosos, porém sem o intuito de se maximizar a sua respectiva produção de vapor saturado ou vapor superaquecido, a qual depende do projeto de detalhamento do equipamento, que, por sua vez, depende da seleção de materiais e da micro-concepção e desenhos pertinentes dos

seus componentes internos, incluindo-se dispositivos de controle e segurança operacional.

## **10 - Métodos calorimétricos**

Os procedimentos experimentais atualmente variam em função dos tipos de calorímetros existentes, todos eles configurados para escala laboratorial e para amostras de pequena massa ou volume, que podem ser isotérmicos ou não isotérmicos (com relação à variação de temperatura no fluido calorimétrico), adiabáticos ou não adiabáticos (relativo às trocas térmicas com a vizinhança), a fluxo constante ou com camisa fechada (com relação ao reservatório térmico).

A seleção do modelo, do aparato ou equipamento para medir a quantidade de calor, gerada ou absorvida, nos processos físicos e químicos, ou físico-químicos, dependerá inicialmente do estado físico da substância a ser analisada, do tamanho da amostra, e das dificuldades operacionais encontradas pelos seus criadores.

Os métodos calorimétricos descrevem o emprego de ações físicas (aquecimento induzido por uma resistência elétrica) ou químicas (uma combustão que transfira calor da amostra em estado de queima para um fluido refrigerante, parado ou em movimento) que provocam uma variação mensurável de temperatura referente ao fenômeno térmico visado.

Apesar dos métodos calorimétricos empregarem calorímetros para atingir os fins desejados, para o caso de calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno o estudo dos métodos a seguir descritos serviu para fundamentar a sua construção e operação envolvendo, simultaneamente, as concepções de um incinerador de pequeno porte e a sua aplicação como calorímetro laboratorial. Nesse âmbito, ressalta-se aqui uma particularidade tecnológica pertinente às tecnologias minerais cujos equipamentos em escala de bancada, que usualmente manipulam sólidos e lamas ou suspensões, com amostras de várias dezenas ou centenas de litros ou quilogramas, correspondem à escala piloto adotada nas tecnologias específicas para fluidos.

### **1) Método Adiabático ou das Misturas**

Esse método considera que a quantidade de calor, negativa ou positiva, a medir, é produzida no meio de uma massa de água  $m$ , no qual a temperatura é elevada ou reduzida de  $t$  a  $T$  estando o calorímetro isolado de sua vizinhança. Essa quantidade de calor tem, pois, por expressão:

$$Q = M \times (T - t) \quad (1)$$

onde  $M$  é a capacidade calorífica da água.

Portanto, não ocorre transferência de calor entre a câmara contendo a amostra de água e o exterior ou vizinhança do calorímetro.

A ausência de troca térmica entre o interior e a vizinhança do calorímetro resulta em confiabilidade para esse método. Aparentemente, vários calorímetros foram concebidos baseados com base nesse método.

Em caso de processo não-adiabático, o método pode ser aplicado levando-se em consideração as perdas térmicas para o ambiente ou para um fluido que esteja recebendo o calor gerado e transmitido, conforme será abordado adiante no método a fluxo constante.

## 10 2) Método Isotérmico

O objetivo desse método consiste em realizar determinações em processos que ocorram à temperatura constante tal como a mudança de fases. A quantidade de calor determinada corresponde àquela que serve para fundir ou vaporizar uma massa  $m$  de amostra ou material em equilíbrio que lhe é proporcional. No caso dos calorímetros de gelo, determina-se a diminuição do volume fundente. A quantidade de calor pode ser obtida pela expressão:

$$Q = m \times L \quad (2)$$

## 3) Método Elétrico

Uma quantidade de calor, dada a priori, é produzida pela passagem de uma corrente elétrica em um fio condutor, e serve para originar o efeito que se deseja estudar, por exemplo, uma variação de temperatura. Esse método é freqüentemente aplicado nas bombas calorimétricas de *Parr*. Essa quantidade de calor é calculada pela equação referências:

$$Q = \frac{1}{4,183} \times r \times i \times t \quad (3)$$

onde  $t$  é o tempo,  $i$  a intensidade da corrente, e  $r$  a resistência do condutor.

## 25 4) Método à Chama ou de Fluxo Constante de um Refrigerante

Emprega uma concepção bem simples e funcional, que serve de referencial e critério para transformar uma caldeira ou um incinerador num calorímetro, pois possibilita medir as variações térmicas de um fenômeno termoquímico através de um fluido em movimento dentro de uma parede oca que circunda a câmara interna. Uma corrente de fluido (com temperatura de entrada  $t$ ) passa através de uma camisa externa a uma câmara contendo a amostra de massa  $m$  em reação ou combustão, sendo aquecida até uma temperatura de saída  $T$ . Num sistema



adiabático, o fluxo de calor pode ser obtido pela fórmula:

$$Q = m \times c \times (T - t) \quad (4)$$

onde  $c$  é o calor específico médio entre  $t$  e  $T$ .

- 5 Caso se considere que na realidade o calorímetro seja não-adiabático, isto é, que possa dissipar energia térmica pelas suas paredes, deve-se somar a quantidade de calor perdido para o ambiente ao valor determinado no ensaio calorimétrico.

### **11 - Descrição detalhada da invenção**

- 10 O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno da presente invenção consiste de novas partes, construções, arranjos, combinações, métodos e melhoramentos aqui expostos e descritos. O desenho ora anexado à documentação constitui parte do corpo ilustrativo da invenção, e junto com a descrição serve para explicar os princípios científicos e operacionais envolvidos. O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno da presente invenção consiste num equipamento termoquímico polivalente, que permite realizar, conjuntamente: 1º - a incineração de descartes, dejetos, 15 resíduos sólidos e fluidos, 2º - a medida do poder calorífico de resíduos sólidos, secos ou úmidos (inclusive industriais perigosos), misturados e constituídos de substâncias e artefatos diversos, 3º - estudar a co-geração de vapor d'água para fins termoelétricos, comerciais e industriais, 4º - coletar escórias e cinzas cadentes e volantes para reciclagem na fabricação de materiais e construção; 5º - avaliar a sustentabilidade do processo de destruição térmica de 20 descartes, dejetos, resíduos sólidos e fluidos.

- Uma concretização preferencial da presente invenção é descrita em referência à figura 1, em que o calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno é composto por duas colunas calorimétricas interligadas pelo topo e lateralmente por três linhas de vapor, formadas por conjuntos monoblocos e seções, removíveis e acopláveis, concebidos com 25 pouca variedade geométrica para prover simplicidade na sua construção e facilidades no diagnóstico das causas de problemas operacionais e acesso durante a manutenção. No fundo da primeira coluna calorimétrica ocorre a liberação de cinzas ou escórias oriundas da seção da câmara calorimétrica de incineração (2) dos resíduos sólidos, na qual também são produzidos os gases de exaustão que são emitidos para a seção da câmara calorimétrica de pós-combustão 30 (4) a qual produz novas emissões gasosas quentes acolhidas na câmara de co-geração calorimétrica (6), que dali sai da coluna de incineração e co-geração por uma seção de saída

das emissões gasosas (7). A segunda coluna calorimétrica recebe os gases quentes, através da conexão formada pela seção de saída das emissões gasosas da coluna de incineração e co-geração (7) da primeira coluna, e a câmara de entrada da coluna de superaquecimento (8), interligadas por um par de flanges (21), que coincide com a entrada de um ciclone (15) interno e superior da coluna de superaquecimento, o qual recebe as emissões gasosas quentes e age para remover as cinzas volantes, e remete a corrente gasosa, desempoeirada e ainda aquecida para três câmaras de superaquecimento (9, 10 e 11) montadas em série, a saber, a superior (9), a intermediária (10), e a inferior (11) para ser liberada, posteriormente, através da seção de saída das emissões gasosas da coluna de superaquecimento (12), à qual está conectada, sendo que esta seção inclui em seu trecho final uma serpentina de aquecimento de água (13) e uma serpentina de aquecimento do ar primário para os queimadores (54) que, depois de aquecido, alimenta ambos os processos de combustão da primeira coluna.

O calorímetro incinerador co-gerador de vapor e superaquecedor com ciclone interno da presente invenção possui duas câmaras de queima, a primeira para os sólidos e fluidos, úmidos e secos a serem incinerados, em temperaturas maiores que 600°C, preferencialmente a 1000°C ou acima deste valor, e a segunda para pós-queimar os gases resultantes da primeira sob temperatura igual ou superior a 1200°C, incluindo dois queimadores (23,24) em cada uma das duas câmaras, direcionados para o interior de cada câmara com a inclinação de 30° a 60° em relação à base horizontal do equipamento, os quais visam garantir a queima completa das substâncias.

As colunas calorimétricas que compõem o calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno (Figura 1) são alimentadas descontinuamente na seção da câmara calorimétrica de incineração (2), mas podem sofrer adaptações construtivas para prover uma alimentação contínua, e uma remoção contínua ou descontínua das cinzas ou escórias, e a descarga contínua das emissões gasosas tratadas de modo seguro.

O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno utiliza água como fluido calorimétrico que alimenta três trocadores de calor da primeira coluna situados, respectivamente, na seção da câmara calorimétrica de incineração (2), na seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4) e na câmara de co-geração calorimétrica (6).

A primeira coluna calorimétrica do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno é composta de cinco partes distintas, cujo formato externo é cilíndrico, sendo alguns formatos internos também cilíndricos, destacáveis ou removíveis, indicadas na Figura

l, a saber:

a) conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e coleta de cinzas e escórias, dividido em seção da coleta de cinzas e escórias (1), possuindo um diâmetro interno igual ou maior que 20cm e altura igual ou maior que 15cm, e seção da câmara calorimétrica de incineração (2) também com diâmetro interno igual ou maior que 20cm e altura igual ou maior que 25cm;

b) conjunto monobloco intermediário de calorimetria e pós-combustão, dividido em:

b.1) seção da garganta inferior (3) para emissões gasosas primárias com altura mínima de 20 cm e diâmetro interno mínimo de 10cm; e

b.2) seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4) com diâmetro interno mínimo de 20cm e altura mínima de 25cm;

c) seção da garganta intermediária (5) com diâmetro interno mínimo de 10cm e altura mínima de 15cm;

d) seção da câmara de co-geração calorimétrica (6) com diâmetro interno mínimo de 20cm e altura mínima de 25 cm; e

e) seção de saída das emissões gasosas da coluna de incineração e co-geração (7) com diâmetro interno mínimo de 20cm e altura mínima de 20cm na direção do seu eixo central longitudinal, e medindo, pelo menos, 35cm na face horizontal superior do topo da coluna entre a superfície externa vertical da coluna e a flange (21) do topo, resultando numa altura total mínima de 140 cm para a coluna calorimétrica de incineração e co-geração, e que também utiliza quatro pares de flanges (21) para acoplar entre si as cinco partes descritas.

A primeira coluna calorimétrica do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno inclui um conjunto de três calorímetros adiabáticos a fluxo constante, em série, de concepção simples, tanto em relação ao aspecto construtivo quanto ao método de determinação do poder calorífico, que facilita sua operação.

A segunda coluna calorimétrica do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno é composta de cinco partes distintas, destacáveis ou removíveis, com formatos externos não cilíndricos, e que estão indicadas na Figura 1, a saber:

a) câmara de entrada da coluna de superaquecimento (8) medindo pelo menos 15cm na face horizontal do seu topo desde a flange (21) até a superfície externa da presente coluna, contendo um ciclone (15) interno e superior da coluna de superaquecimento para remover as cinzas volantes da corrente gasosa aquecida, o qual possui um duto de descarga das cinzas

volantes (49) , com diâmetro interno mínimo de 5cm concêntrico, paralelo e interno às câmaras que permite um escoamento descendente das emissões gasosas e das cinzas sem que haja contato direto entre ambas,

5 b) câmara de superaquecimento superior (9) para receber o vapor saturado oriundo da câmara de co-geração calorimétrica (6);

c) câmara de superaquecimento intermediária (10) para receber o vapor saturado oriundo da câmara calorimétrica de pós-combustão (4);

d) câmara de superaquecimento inferior (11) para receber o vapor saturado oriundo da câmara calorimétrica de incineração (2); e

10 e) seção de saída das emissões gasosas da coluna de incineração e co-geração (12), a qual inclui a serpentina de aquecimento de água (13) e uma serpentina de aquecimento do ar primário para os queimadores (54) que, depois de aquecido, alimenta ambos os processos de combustão da primeira coluna, sendo todas as partes da segunda coluna também interligadas por pares de flanges (21).

15 Abaixo da segunda coluna calorimétrica do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno existe um cinzeiro externo para cinzas volantes (16), similar ao cinzeiro para cinzas e escórias (14) empregado internamente dentro da primeira coluna calorimétrica, porém específico para coletar as cinzas volantes recolhidas pelo duto de descarga das cinzas volantes (49), o qual é constituído de material cerâmico capaz de suportar  
20 a possível abrasividade das partículas cadentes.

Todas as partes componentes de ambas as colunas calorimétricas do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno são dotadas de paredes compostas por uma carcaça metálica externa (17), que reveste uma camada isolante (18) de fibra inorgânica moldável que recobre externamente uma camada de material refratário rígido (19), pré-  
25 conformado na respectiva geometria indicada no desenho da Figura 1, e de acordo com as finalidades e os demais componentes ou seção de cada uma das suas partes internas. Todas as tubulações metálicas de vapor e de ar pré-aquecido, instaladas entre ambas as colunas do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno, são revestidas por uma camada isolante (18) de fibras inorgânicas, moldáveis, recobertas por um invólucro metálico  
30 (20) ou compósito em cada segmento da respectiva linha de vapor ou destinado a sustentar mecanicamente o material responsável pelo isolamento térmico.

O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno (Figura 1) visa

associar as características de um calorímetro às de um incinerador para resíduos sólidos, secos ou úmidos (inclusive industriais perigosos), com vistas ao aproveitamento energético dos seus calores de combustão e também do calor liberado na queima dos combustíveis acrescidos aos queimadores de incineração e da pós-queima de seus gases de exaustão para fins de co-geração de vapor e energia termoeletrica.

O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno permite realizar simultaneamente a medição do poder calorífico dos dejetos, aproveitando a energia térmica do processo para gerar vapor superaquecido para co-geração energética, a partir do processo de incineração de resíduos sólidos secos ou úmidos (inclusive industriais perigosos), ou substâncias e artefatos diversos, cujas emissões gasosas finais são conduzidas a um sistema externo de tratamento apropriado.

As cinzas e escórias não-volantes, porventura resultantes da queima dos resíduos sólidos e líquidos no interior do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno são recolhidas num cinzeiro para cinzas e escórias (14) e descartável colocado na seção da coleta de cinzas e escórias (1) da primeira coluna calorimétrica. As cinzas volantes são separadas através do uso de um ciclone interno (15) e superior da coluna de superaquecimento, localizado no topo da segunda coluna calorimétrica, e são recolhidas num cinzeiro externo para cinzas volantes (16) posicionado abaixo da sua base.

Todas as partes do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno são interligadas por flanges (21) quadradas justapostas, e dotadas entre si de juntas de tecidos de fibras inorgânicas revestidos de teflon, e fixadas por meio de parafusos e porcas através de furos próximos a cada um dos vértices, sendo estas flanges (21) soldadas à chapa da carcaça da respectiva câmara ou garganta, possuindo, cada uma, nas suas respectivas áreas centrais, um recorte cilíndrico cujo diâmetro equivale ao diâmetro interno inferior ou superior da câmara ou garganta considerada.

O conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e coleta de cinzas e escórias da primeira coluna do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno possui uma base inferior dotada de duas passagens cilíndricas para dois tubos ou bicos injetores de ar secundário (25) e uma outra passagem central para ser fixado um poço termométrico (47) contendo um termopar.

O conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e coleta de cinzas e escórias da primeira coluna do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone

interno possui na seção da coleta de cinzas e escórias (1) um cinzeiro interno para cinzas e escórias (14) refratário descartável, de formato cilíndrico, com diâmetro interno mínimo de 15cm e altura mínima de 5cm (cinco centímetros) para coletar as cinzas, escórias ou clínqueres, acima do qual se apóia uma grelha inferior (27) com diâmetro mínimo de 15cm  
5 destinada a sustentar a amostra do lixo ou resíduos sólidos antes e durante a sua queima e permitir a queda das cinzas.

O conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e coleta de cinzas e escórias do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno possui um par de queimadores de gás da seção da câmara calorimétrica de incineração (23), direcionados para o  
10 interior de cada câmara com a inclinação de 30° a 60° em relação à base horizontal do equipamento, que promovendo uma chama resultante vertical que evita contato direto com a parede, sendo instalados acima da grelha inferior (27), e posicionados diametralmente opostos, abaixo do feixe de tubos componentes da camisa da seção da câmara calorimétrica de incineração (30). Tal arranjo possibilita realizar as determinações calorimétricas referentes à  
15 incineração ou combustão primária dos resíduos sólidos depositados sobre a grelha inferior (27), admitindo que esse conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e coleta de cinzas e escórias atue como uma fornalha de uma caldeira aquo-tubular e que o vapor saturado, porventura produzido na mesma, possa ser convertido em vapor superaquecido após passagem pela câmara de superaquecimento inferior (11), posicionada paralelamente à mesma  
20 na coluna de superaquecimento.

O calorímetro incinerador co-gerador de vapor e superaquecedor com ciclone interno contém na base de sua coluna calorimétrica de incineração e co-geração, injetores de ar secundário da seção da câmara calorimétrica de incineração (25) com diâmetro interno mínimo de 01cm, para combustão primária, que atravessam a base da seção de coleta de  
25 cinzas (1) sob o cinzeiro interno para cinzas e escórias (27) ascendendo paralelamente a sua superfície lateral externa.

O calorímetro incinerador co-gerador de vapor e superaquecedor com ciclone interno inclui na base de sua coluna calorimétrica de incineração e co-geração um sistema para remoção e recolocação da grelha inferior (27) e do cinzeiro interno para cinzas e escórias (14)  
30 do conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e coleta de cinzas e escórias da coluna calorimétrica de incineração e co-geração pelo uso manual de ganchos metálicos de diâmetro variando entre 3 mm e 50 mm e comprimento mínimo de 35 cm compatível com a

profundidade da câmara calorimétrica de incineração (2).

A camisa da seção da câmara calorimétrica de incineração (30) do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno é composta e limitada por um feixe de tubos verticais posicionados internamente ao redor da chama, montado na periferia interna da parede do conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e coleta de cinzas e escórias e junto à camada de material refratário rígido (19) revestida externamente por uma camada isolante (18) de fibra inorgânica moldável, ambas em formato cilíndrico. Uma entrada de água na camisa da seção da câmara calorimétrica de incineração (33), e um bocal de saída de vapor saturado da seção da câmara calorimétrica de incineração (36), interligado por meio de conexões da linha de vapor (22) diretamente à câmara de superaquecimento inferior (11) correspondente, ambos instalados na mesma direção diametral, permitem o escoamento do fluido calorimétrico constituído pela água que entra e o vapor que sai da coluna de incineração de incineração e co-geração para a coluna de superaquecimento.

O conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e coleta de cinzas e escórias, de formato cilíndrico, do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno possui em sua face superior uma flange (21) quadrada, dotada de um recorte cilíndrico na sua área central cujo diâmetro equivale ao diâmetro interno da camisa da seção da câmara calorimétrica de incineração (30), acoplada a uma flange (21) inferior de igual geometria e dimensões do conjunto monobloco intermediário de calorimetria e pós-combustão.

O conjunto monobloco intermediário de calorimetria e pós-combustão do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno é limitado em sua face inferior por uma flange (21) quadrada inferior, igualmente dotada de um recorte cilíndrico na sua área central cujo diâmetro equivale ao diâmetro interno da flange (8) quadrada superior do conjunto incinerador-calorimétrico inferior e coleta de cinzas, e que contém, ao nível da flange (21) quadrada inferior, um poço termométrico (47) para medir a temperatura dos gases que saem da seção da câmara calorimétrica de incineração (2), e acima do qual existe um segmento inferior em formato troncônico da seção da garganta inferior (3), no qual desemboca uma passagem de poço de observação inclinado da seção da câmara calorimétrica de incineração (45) para se observar o interior da seção da câmara calorimétrica de incineração (2) abaixo do mesmo.

A seção da garganta inferior (3) é parte do conjunto monobloco intermediário de calorimetria e pós-combustão do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone

interno e contém uma grelha intermediária (28), situada abaixo das saídas de injetores de ar secundário da seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (26), instalados de modo inclinado no segmento troncônico superior da mesma seção da garganta inferior (3), e direcionados para o eixo central de todo o conjunto monobloco intermediário de calorimetria e pós-combustão, particularmente da própria seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4).

A camisa calorimétrica de pós-combustão (31) também é composta e limitada por um feixe de tubos verticais posicionados internamente ao redor da chama, e também caracteriza uma caldeira aquo-tubular, localizada acima do par de queimadores de gás (24), de modo semelhante à instalação existente na seção da câmara calorimétrica de incineração (2), por onde passa o fluido calorimétrico que mede o calor de combustão remanescente dos gases provenientes da queima da seção da câmara calorimétrica de incineração (2), gerando vapor saturado que fluirá para sua respectiva câmara de superaquecimento inferior (10) para produção do vapor superaquecido correspondente.

O limite superior do conjunto monobloco intermediário de calorimetria e pós-combustão do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno é constituído por uma flange (21) quadrada superior, igualmente dotada de um recorte cilíndrico na sua área central cujo diâmetro equivale ao diâmetro interno da seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4).

A seção da garganta intermediária (5) do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno é limitada na sua base por uma flange (21) quadrada posicionada acima da seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4), igualmente dotada de um recorte cilíndrico na sua área central cujo diâmetro interno do segmento troncônico da mesma garganta intermediária (5) equivale ao diâmetro interno da seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4), possuindo ao final de seu segmento troncônico inferior um segmento cilíndrico que contém uma grelha superior (29), a qual é suportada por um anel em alto relevo que é parte do próprio revestimento refratário cilíndrico interno, e possuindo também um segmento troncônico superior, limitado por uma flange (21) quadrada superior, igualmente dotada de um recorte cilíndrico na sua área central cujo diâmetro equivale ao diâmetro interno da câmara de co-geração calorimétrica (6) e que contém, ao nível da face inferior dessa mesma flange (21) um poço termométrico (47) para medição da temperatura de entrada das emissões gasosas no interior câmara de co-geração calorimétrica (6).



Acima da garganta intermediária (5) está situada uma câmara de co-geração calorimétrica (6) do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno que se destina a recuperar parte do calor contido nos gases oriundos da seção da câmara calorimétrica de incineração (2) e da seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4) que  
5 estarão escoando em alta velocidade e mantendo pressão positiva até a saída do conjunto.

A câmara de co-geração calorimétrica (6) do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno incorpora um trocador de calor flamo-tubular (15) constituído por materiais metálicos, cuja passagem dos gases pelo interior dos tubos pode ser única ou múltipla, o qual possui no seu cabeçote inferior uma entrada de água (35) e no seu cabeçote  
10 superior um bocal de saída de vapor saturado (40) interligado à câmara de superaquecimento superior (9), sendo a face externa cilíndrica do trocador faceada pela camada de material refratário rígido (19) cuja face externa é revestida pela camada isolante (18) de fibra inorgânica moldável, e envolvida pela carcaça metálica externa (17).

A câmara de co-geração calorimétrica (6) do calorímetro incinerador co-gerador de  
15 vapor com ciclone interno possui flanges (21) quadradas na sua extremidades, inferior e superior, igualmente dotadas, cada uma, de um recorte cilíndrico na sua área central cujo diâmetro equivale ao diâmetro interno do trocador flamo-tubular (32).

A seção de saída das emissões gasosas da coluna de incineração e co-geração (7) do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno possui uma flange (21)  
20 quadrada na sua extremidade inferior para acoplamento com a flange (21) superior da câmara de co-geração calorimétrica (6).

A seção de saída das emissões gasosas da coluna de incineração e co-geração (7) do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno possui na face superior do par de flanges (21) quadrada única um poço termométrico (47) para medição da temperatura  
25 de saída das emissões gasosas do interior da câmara de co-geração calorimétrica (6).

A seção de saída das emissões gasosas da coluna de incineração e co-geração (7) conduz os gases a um ciclone interno e superior da coluna de superaquecimento (15), posicionado no topo da coluna de superaquecimento, onde uma fração das cinzas volantes é separada e conduzida por meio de um duto de descarga das cinzas volantes (49) interno  
30 concêntrico, com diâmetro interno mínimo de 5 cm, para a base da coluna de superaquecimento, onde é descarregada e depositada em um cinzeiro externo para cinzas volantes (16) situado em sua parte inferior. As emissões gasosas contendo as partículas finas

de topo constituem o fluido quente para troca térmica com o vapor proveniente dos calorímetros.

A movimentação vertical do conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e coleta de cinzas e escórias do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno pode ser efetuada com o auxílio de um macaco hidráulico conveniente montado sobre um carrinho de quatro rodas, que possibilita o seu transporte na direção horizontal do piso do recinto operacional.

O cinzeiro interno para cinzas e escórias (14) é constituído por um cadinho refratário de formato cilíndrico, disposto no interior do conjunto inferior de incineração e calorimetria e coleta de cinzas e escórias do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno, e possui uma borda contendo reentrâncias ou geometria denteadas para permitir que o ar secundário, introduzido por injetores de ar secundário, da seção da câmara calorimétrica de incineração (25) abaixo do cinzeiro (14), ascenda pelo espaço entre ambos, para a seção da câmara calorimétrica de incineração (2) e possa servir de apoio à grelha inferior (27) refratária adjacente.

O cinzeiro interno para cinzas e escórias (14), a ser disposto no fundo do interior do conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e coleta de cinzas e escórias do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno para tratar descartes, dejetos e resíduos sólidos e coletar cinzas e escórias da presente invenção, possui, também, em sua borda, dois furos diametralmente opostos, para que possa ser inserido ou removido verticalmente com o auxílio de ganchos metálicos apropriados.

O cinzeiro interno para cinzas e escórias (14), disposto no interior do conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e coleta de cinzas e escórias do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno, pode ser descartado à medida que as escórias e cinzas produzam ataques químicos e abrasivos acentuados que provoquem seu desgaste ou fragilização, para que sua substituição oportuna garanta a vida útil da seção da coleta de cinzas (1), assim como o desempenho dos injetores de ar secundário da seção da câmara calorimétrica de incineração (25) e do elemento sensor de temperatura contido no poço termométrico (47).

A grelha inferior (27) do conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e coleta de cinzas e escórias do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno é constituída do mesmo material refratário do cinzeiro para cinzas e escórias (14), e

deve possuir um anel externo que lhe permita ser apoiada sobre a borda do cinzeiro para cinzas e escórias (14) para evitar o vazamento de cinzas para fora do mesmo e direcionar a deposição para o seu interior.

A instalação inclinada do par de queimadores de gás da seção da câmara calorimétrica de incineração (23) do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno permite evitar a formação de um vórtice de chamas ascendentes ao redor das amostras depositadas sobre a grelha inferior (27), e, também, o contato direto com a parede e a deterioração do material da camisa da seção da câmara calorimétrica de incineração, possibilitando produzir combustões primárias entre 900°C e 1200°C.

A instalação inclinada do par de queimadores de gás da seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (24) do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno direciona as chamas ascendentes ao redor das amostras na direção do eixo central longitudinal da coluna, e permite a queima dos gases oriundos da seção da câmara calorimétrica de incineração (2) e, também, as cinzas volantes da incineração da amostra através de combustões secundárias ocorrendo entre 1300 e 1500°C.

A instalação inclinada do par de queimadores de gás da seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (24) do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno permite evitar a deterioração decorrente de algum contato direto das chamas com a parede formada pelo feixe de tubos metálicos da camisa da seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (31).

A remoção e a recolocação da grelha inferior (27) do conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e coleta de cinzas e escórias do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno pode ser efetuada manualmente pelo uso de ganchos metálicos de espessura adequada e comprimento compatível com a profundidade da seção da câmara calorimétrica de incineração (2).

A remoção e a reposição do cinzeiro para cinzas e escórias (14) do conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e coleta de cinzas e escórias do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno pode ser efetuada manualmente pelo uso de ganchos metálicos de espessura adequada e comprimento compatível com a profundidade da seção da câmara calorimétrica de incineração (2).

A alimentação de nova carga de sacos dos resíduos ou dejetos sólidos ao conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e coleta de cinzas e escórias do calorímetro

incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno pode ser feita manualmente pela sua deposição no interior da seção da câmara calorimétrica de incineração (2) através da abertura central do par de flanges (21) superior, depositando-a sobre a grelha inferior (27).

5 Todas as entradas e saídas de água do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno são monitoradas por meio de termopares, manômetros e rotâmetros para detectar as variações de temperatura, pressão e vazão ocorridas no percurso ao longo das respectivas partes do equipamento.

10 A seção da câmara calorimétrica de incineração (2), a seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4) e a câmara de co-geração calorimétrica (6) possuem controladores de nível de água em seus interiores, os quais são imprescindíveis para que se possa controlar e para manter o nível de inundação e pressão interna constantes, evitando variações ou perturbações das características termodinâmicas das correntes de saída, além de possibilitar a prevenção de acidentes decorrentes da deterioração ou, inclusive, o rompimento das paredes ou junções do equipamento.

15 Todos os queimadores de gás para a seção da câmara calorimétrica de incineração (2) e a seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4) do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno são alimentados com gás combustível natural ou manufaturado, e são dotados de sistemas independentes de injeção de ar primário, oriundos da serpentina de aquecimento de ar primário (54) pré-aquecidos ao trocarem calor com as emissões gasosas no duto que conduz ao bocal de saída da coluna da coluna de superaquecimento (50).

20 A grelha intermediária (28) e a grelha superior (29) do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno servem para evitar escoamentos retilíneos dos gases e para reter partículas grossas das cinzas volantes ou resíduos mal-queimados porventura arrastados pelos gases injetados e expelidos

25 O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno incorpora na montagem dos seus componentes internos uma defasagem entre as aberturas das malhas da grelha intermediária (28) e da grelha superior (29), sendo importante garantir que as aberturas da grelha superior (29) sejam menores do que as da grelha intermediária (28).

30 O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno permite um aproveitamento energético mais eficiente por gerar vapor superaquecido através de uma coluna de superaquecimento.

O ciclone interno e superior da coluna de superaquecimento (15) do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno possui duas saídas, uma superior e outra inferior, por onde saem, respectivamente, as emissões gasosas quentes desempoeiradas e as cinzas volantes. O ciclone interno e o superior da coluna de superaquecimento (15) possuem  
5 uma carcaça externa com uma seção de formato cilíndrico ligada a uma seção troncônica inferior.

As câmaras de superaquecimento superior (9), intermediária (10) e inferior (11) do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno possuem conformação geométrica similar variando apenas no comprimento e nas vazões e pressões ou cargas de vapor, que recebem para superaquecimento e nos produtos resultantes de sua atuação.  
10

O bocal de saída de vapor saturado da seção da câmara calorimétrica de incineração (36) é interligado por conexões da linha de vapor (22) ao bocal de entrada de vapor saturado na câmara de superaquecimento inferior (37) do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno para tratar descartes, dejetos e resíduos sólidos e coletar cinzas e escórias da presente patente de invenção.  
15

O bocal de saída de vapor saturado da seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (38) é interligado por conexões da linha de vapor (22) ao bocal de entrada de vapor saturado na câmara de superaquecimento intermediária (39) do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno.

O bocal de saída de vapor saturado da câmara de co-geração calorimétrica (40) é interligado por conexões da linha de vapor (22) ao bocal de entrada de vapor saturado na câmara de superaquecimento superior (41) da coluna de superaquecimento do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno.  
20

As linhas de entrada de vapor saturado referentes ao bocal de entrada de vapor saturado na câmara de superaquecimento inferior (37) mais o bocal de entrada de vapor saturado na câmara de superaquecimento intermediária (39) e mais o bocal de entrada de vapor saturado na câmara de superaquecimento superior (41) da coluna de superaquecimento do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno são interligadas por linhas de vapor (52) e controladas por válvulas (53) que permitam combinar as correntes para  
25 obter o grau de superaquecimento preferencial ou somar as vazões mássicas para atender a demandas preferenciais de vapor superaquecido.  
30

No calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno cada linha de

vapor externa é revestida por um invólucro metálico para camada isolante da linha de vapor (18) que envolve uma camada isolante de fibra inorgânica moldável (20) para minimizar as perdas térmicas.

No calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno cada linha de vapor interna da serpentina de superaquecimento de vapor saturado (48) percorre o interior da respectiva câmara de superaquecimento componente da coluna de superaquecimento para efetuar a troca térmica com os gases quentes que escoam no seu interior e propiciam a geração de vapor superaquecido.

O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno possui três saídas de vapor superaquecido:

1ª - saída de vapor superaquecido da câmara de superaquecimento inferior (42),

2ª - saída de vapor superaquecido da câmara de superaquecimento intermediária (43),

e,

3ª - saída de vapor superaquecido da câmara de superaquecimento superior (44).

## **12 - Critérios gerais para o pré-dimensionamento da presente invenção**

A determinação do poder calorífico de cada amostra dos resíduos sólidos urbanos queimados no calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno é realizada por meio de um balanço térmico de entalpias envolvendo os seguintes ambientes operacionais: seção da câmara calorimétrica de incineração (2), seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4), câmara de co-geração calorimétrica (6), da coluna de incineração e co-geração, e nas câmaras de superaquecimento (9,10,11) da coluna de superaquecimento, a qual incluirá em seu trecho final uma serpentina de aquecimento de água (13) e uma serpentina de aquecimento do ar primário para os queimadores (54) da primeira coluna, referentes aos processos de incineração e pós-combustão.

Para os objetivos práticos em tela, as três câmaras da coluna de incineração e co-geração correspondem a alguns tipos distintos de caldeiras adotadas em escalas industrial e comercial. A seção da câmara calorimétrica de incineração (2) corresponde originalmente a uma caldeira de tubos de água (aquo-tubular) marítima de produção de vapor e incineração de resíduos, originalmente dotada de um queimador a óleo, que na presente invenção deverá queimar gás natural ou similar. A seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4) corresponde a uma caldeira de tubos de água (aquo-tubular) marítima de produção de vapor originalmente concebida para queimar óleo combustível, que, também, na presente invenção

deverá queimar gás natural ou similar. A seção da câmara de co-geração calorimétrica (6) corresponde a uma caldeira flamo-tubular de recuperação de calor. Conseqüentemente, cada um desses três ambientes operacionais deve receber um tratamento matemático individualizado, para fins de determinar as cargas térmicas disponibilizadas durante sua  
5 operação.

As três câmaras da coluna de incineração e co-geração da presente invenção de calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno são concebidas para produzir vapor-saturado respeitadas as condições construtivas típicas de caldeiras convencionais. A literatura técnica conhecida revela que uma caldeira de tubos de água (aquo-tubular) marítima aquecida a óleo permite incinerar resíduos sólidos. Não se encontrou informação técnica  
10 explícita de algum modelo de caldeira marítima ou loco-móvel que consiga no mesmo equipamento a conversão de vapor saturado em vapor superaquecido. A existência conjunta da seção de câmara calorimétrica de incineração (2) e da seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4) na mesma coluna, mesmo que recebam suas alimentações de água em  
15 separado permitem supor que seja possível produzir uma quantidade de calor de combustão suficiente para a produção de vapor superaquecido nas câmaras de superaquecimento (9,10,11) da coluna de superaquecimento. Essa hipótese torna necessário elaborar, preliminarmente, um conjunto de cálculos para se estimar as cargas térmicas produzidas nas duas câmaras nas quais ocorre a incineração e a pós-queima, que envolvem explicitamente  
20 procedimentos de pré-dimensionamento das seções das câmaras da coluna de incineração e co-geração da presente invenção. Para o caso da câmara de co-geração calorimétrica (6), os cálculos podem ser efetuados de acordo com os procedimentos consagrados na literatura técnica aberta referentes a trocadores de casco e tubos.

A construção e montagem mais o tratamento matemático experimental para o uso da  
25 presente invenção de calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno dependem de etapas de pré-dimensionamento com vistas à produção simultânea de vapor saturado e superaquecido. Essa consideração se refere à concepção de um equipamento de pequeno porte, equivalente a um modelo ou protótipo em escala piloto, ou ainda semi-industrial, que pode ser objeto de cálculos de ampliação de escala de modo a atender as  
30 concepções e necessidades das indústrias químicas e correlatas.

O pré-dimensionamento para o calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno corresponde a um conjunto de procedimentos de modelagem matemática com

vistas ao seu projeto e simulação – pelo uso de estimativas de dados de condições operacionais - que envolve a aplicação de métodos tentativos, iterativos e aproximativos referentes aos processos químicos de incineração e combustão, e aos processos físicos de evaporação da água de alimentação em cada uma das câmaras calorimétricas consideradas.

5 O pré-dimensionamento das serpentinas de superaquecimento de vapor saturado (48) das três câmaras de superaquecimento (9, 10, 11) da coluna de superaquecimento e do seu trecho final - que conterá uma serpentina de aquecimento de água (13) e uma serpentina de aquecimento do ar primário para os queimadores (54) da primeira coluna - referentes ao calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno corresponde a um conjunto  
10 de procedimentos de modelagem matemática consagrados na literatura técnica aberta para seu projeto e simulação.

O pré-dimensionamento em tela para o calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno deve incluir o processo de tiragem, que é fundamental para garantir a introdução do ar na fornalha e manter a circulação das emissões gasosas provenientes das  
15 colunas de incineração e co-geração e de superaquecimento, através de todo o equipamento, até a saída para a atmosfera. O circuito oferece apreciáveis resistências ao escoamento dos fluidos gasosos. A tiragem deve vencer todas as perdas de carga oferecidas pelo circuito garantindo um fluxo contínuo dos gases envolvidos com os processos de combustão através das câmaras, tubulações e acidentes diversos. A tiragem mede-se em “mm de coluna de água”  
20 e equivale a “kg/m<sup>2</sup>”. A tiragem é obtida na prática por meio de um equipamento estático, que é a chaminé, ou empregando recursos mecânicos como sopradores ou exaustores.

### **13 - Critérios para o pré-dimensionamento da coluna calorimétrica de incineração e co-geração**

A primeira etapa dos procedimentos de pré-dimensionamento do conjunto da primeira  
25 coluna corresponde a admitir que a água de alimentação de cada uma das três câmaras calorimétricas da coluna de incineração e co-geração será alimentada na temperatura de 50°C a 60°C e todas as saídas de vapor saturado corresponderão à pressão operacional de 7kg/cm<sup>2</sup> cuja temperatura resultante pode ser da ordem de 164°C com base nas informações das tabelas de vapor d'água.

30 Cada ambiente calorimétrico terá seu volume interno ocupado em 50% com água, e o restante com o vapor saturado, produzido que será imediatamente retirado do ambiente acima do nível de água. Nas caldeiras flamo-tubulares existem espaços internos denominados



“câmara de alimentação” que compreendem os níveis máximo e mínimo da água, pois esta nunca deve encher totalmente o vaso de pressão e, se assim fizesse, seria desinteressante porque o vapor quando se liberta da massa líquida se expande nessa câmara de alimentação antes de sair da caldeira. Dessa forma, deixa cair por gravidade algumas gotículas de água que mecanicamente poderiam ser arrastadas favorecendo a produção de vapor seco, o que é conveniente ao aproveitamento posterior do vapor. O nível máximo da câmara de alimentação limita a água para que esta não inunde a linha de vapor. O nível mínimo evita a presença de superfície seca na caldeira, o que viria danificar os tubos que se aqueceriam demais e poderiam deformar-se. Nas caldeiras aquo-tubulares são empregadas “paredes de água” dispostas no interior do refratário da fornalha e um critério similar de níveis mínimo e máximo de água pode ser adotado.

A quantidade de calor disponibilizada na seção da câmara calorimétrica de incineração (2) será resultante da queima do combustível (no presente caso, o gás natural) cujo valor nominal é Poder Calorífico Inferior =  $9.359 \text{ kcal/m}^3$ , e da massa de resíduos sólidos que será incinerada, cujo valor estimativo pode ser  $5.000 \text{ kcal/kg}$ .

A quantidade de calor disponibilizada na seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4) será resultante apenas da queima do combustível (no presente caso, o gás natural) cujo valor nominal é Poder Calorífico Inferior =  $9.359 \text{ kcal/m}^3$ .

A quantidade de calor disponibilizada na da câmara de co-geração (4) será resultante apenas do aporte das emissões gasosas oriundas da seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4).

O calor total desenvolvido ou gerado na fornalha por unidade de tempo - descontado das perdas térmicas da fornalha decorrentes do combustível não queimado, irradiação, condução e convecção de calor para o ambiente e pelo calor sensível contido nos gases - pode ser determinado a partir dos dados do poder calorífico inferior do combustível empregado nos queimadores, da temperatura do ar frio, temperatura do ar aquecido e volume de ar real.

A entalpia residual ou conteúdo térmico específico residual das emissões gasosas oriundas da combustão do gás natural (ou algum outro combustível usado nos queimadores) e/ou dos resíduos sólidos que abandonam a fornalha podem ser determinados a partir de fórmulas empíricas ou gráficos correspondentes por métodos descritos na literatura técnica aberta, a partir do valor da “temperatura de equilíbrio” das respectivas emissões gasosas.

A “temperatura de equilíbrio” corresponde à temperatura das emissões gasosas que

saem de uma fornalha para as partes posteriores do gerador de vapor. Para a coluna de incineração e co-geração, o primeiro caso a ser considerado é o da temperatura de equilíbrio ou de saída das emissões gasosas da seção da câmara calorimétrica de incineração (2) pode ser obtida a partir da temperatura da câmara de combustão em tela. Seu cálculo preciso é extremamente complexo e importante nas caldeiras de grande porte, e sempre é estabelecido por tentativas. Alguns autores costumam denominá-la de “temperatura real da combustão”, distinguindo-a da “temperatura teórica”, que é aquela que seria registrada na queima de um combustível em condições ideais, sem que ocorra alguma perda ou absorção do calor com o meio. A “temperatura teórica” pode ser calculada analiticamente em função do poder calorífico inferior do combustível, porém, não apresenta interesse prático. A “temperatura de equilíbrio” é de fundamental importância no dimensionamento da caldeira e pode ser calculada de acordo com os valores do excesso de ar pré-considerados através dos critérios expostos em farta literatura técnica aberta ou de acordo com os padrões adotados pelo fabricante de equipamentos similares.

Da mesma forma, a temperatura de equilíbrio de saída das emissões gasosas da seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4) pode ser calculada pelo procedimento mencionado em 5.2.8 considerando-se a temperatura operacional de 1200°C.

A temperatura de equilíbrio de saída das emissões gasosas da câmara de co-geração (6) será calculada por um balanço térmico aplicável a uma caldeira flamo-tubular, onde a temperatura de entrada da água é de 50°C a 60°C, a temperatura do vapor produzido pode ser da ordem de 164°C, correspondendo à pressão nominal de fornecimento de vapor d’água de 7kg/cm<sup>2</sup> segundo as tabelas de vapor d’água.

Admite-se que a fração mássica das cinzas volantes será removida no ciclone interno e superior da coluna de superaquecimento (15) e sua participação será desprezível na vazão mássica das emissões gasosas na seção de saída das emissões gasosas totais (12).

Com base nas reações de combustão e composição das emissões gasosas, é possível determinar o seu volume específico mínimo por massa do combustível queimado na seção calorimétrica considerada, em m<sup>3</sup>/Kg de combustível, considerando-se apenas o ar teórico ou estequiométrico. O cálculo preliminar da quantidade de ar, e das emissões gasosas nas condições operacionais consideradas, pode ser feito utilizando-se um dos métodos encontrados na literatura, como o das fórmulas empíricas de *Rosin*. As quantidades de ar e de gases emitidos dependem do poder calorífico do combustível e do seu estado físico durante a

alimentação do queimador.

Os dois ambientes termoquímicos do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno, que são a seção da câmara calorimétrica de incineração (2) e a seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4), correspondem às fornalhas constituídas por

5 paredes compostas de fileiras de tubos de água, que podem ser dispostas num feixe de tubos verticais em paralelo ou que compõem uma parede de tubos verticais interligados e interaletados sem solda, que deverão receber o calor gerado pelo combustível por meio de três processos de transmissão de calor: irradiação, luminosa e gasosa; convecção; e condução.

As fornalhas aquo-tubulares integralmente irradiadas ao disporem os tubos em todos

10 os planos recebem forte participação do calor irradiado podendo alcançar até 70% do calor gerado pelo combustível. A quantidade de calor absorvida de corrente da radiação luminosa (num ambiente aquo-tubular) pode ser calculada pela Lei de *Stefan-Boltzmann*. Dos constituintes encontrados nos gases de combustão, se apresentam como bons receptores e emissores de calor o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o vapor d'água. Sob o ponto de vista prático

15 os gases oxigênio ( $\text{O}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) são considerados não-irradiantes, pois são radiantes seletivos, emitindo e absorvendo energia calorífica apenas dentro de alguns intervalos de comprimento de onda e não emitem radiação luminosa, embora transmitam energia por radiação infra-vermelha. O método de *Koch*, citado na literatura técnica aberta, é conveniente e prático para determinação do calor absorvido por

20 radiação gasosa nas paredes dos tubos de água.

A fração do calor cedido pela emissão gasosa quente (ou um fluido gasoso aquecido) a um corpo sólido por convecção é diretamente proporcional ao coeficiente de película do filme gasoso sobre a superfície receptora de calor, e à área da superfície de transferência de calor, e, ainda, à diferença média logarítmica da temperatura entre o fluido gasoso e o corpo sólido. O

25 coeficiente de película do gás (ou emissão gasosa) nesse caso pode ser determinado a partir de expressões matemáticas de origem, prática ou empírica, que estão consagradas na literatura técnica aberta.

A transferência de calor por condução se processa através das paredes metálicas dos tubos. A quantidade de calor conduzido através de uma parede metálica, num dado tempo, é

30 diretamente proporcional à diferença de temperatura das faces quente e fria; inversamente proporcional à espessura do material; diretamente proporcional à superfície de contato e dependente do próprio material.

As taxas de transferência de calor nas câmaras da coluna de incineração e co-geração do presente calorímetro serão calculadas a partir dos dados de condições operacionais, previamente estabelecidos, e pelas variáveis de processo já mencionadas que incluem as temperaturas de alimentação de água, de equilíbrio das emissões gasosas, e respectivas vazões  
5 mássicas de entrada, bem como as respectivas temperaturas de saída de vapor saturado.

A taxa de transferência de calor na seção da câmara calorimétrica de incineração (2) será determinada a partir dos dados do poder calorífico dos combustíveis (que deverão queimar a  $1000^{\circ}\text{C}$ ) e da entalpia de saída dos gases de combustão (calor sensível), que depende de sua temperatura de equilíbrio na sua saída, e representará a diferença entre o calor  
10 da combustão e o calor perdido através das emissões gasosas no intervalo de tempo operacional considerado.

A taxa de transferência de calor na seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4) será função da vazão das emissões gasosas oriundas da seção da câmara calorimétrica de incineração (2), das suas temperaturas de entrada e saída e do calor de combustão fornecido  
15 pelo combustível para manter a temperatura de  $1200^{\circ}\text{C}$ .

A taxa de transferência de calor, na seção da câmara calorimétrica de co-geração (6), será determinada pelo método baseado na efetividade do trocador de calor, que compara a razão de troca do calor atual ou real com a máxima possível cujo único limite é o estabelecido pela Segunda Lei da Termodinâmica.

20 As vazões mássicas de vapor saturado gerado nas câmaras da coluna de incineração e co-geração serão calculadas a partir das respectivas taxas de transferência de calor e temperaturas de entrada e saída das correntes.

Os coeficientes globais de transferência de calor na seção da câmara calorimétrica de incineração (2) e na seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4) da presente invenção  
25 poderão ser pré-calculados a partir dos valores estimados dos coeficientes de transferência de calor por convecção e condução para as suas respectivas paredes ou bancos de tubos de água. Para o caso da câmara calorimétrica de co-geração (6), os gases são provenientes das demais câmaras e os efeitos radiantes luminosos podem ser desprezados.

A partir dos valores pré-calculados dos coeficientes globais de transferência de calor,  
30 da média logarítmica da diferença de temperaturas e das taxas de transferência de calor em cada câmara calorimétrica do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno poderá ser calculada a área de transferência de calor em cada ambiente operacional da

coluna de incineração e co-geração.

#### **14 - Critérios para o pré-dimensionamento da coluna calorimétrica de superaquecimento de vapor**

Duas situações poderão ser consideradas:

5           1ª - calcular a temperatura do vapor superaquecido em função das cargas térmicas, das temperaturas e da vazão da emissão gasosa na saída da câmara calorimétrica de co-geração (6) e de uma área de troca térmica pertinente ao conjunto de três elementos de transferência de calor (por exemplo, serpentinas) previamente selecionados, correspondentes às três câmaras de superaquecimento (9), (10) e (11); e

10          2ª - dimensionar a área de transferência de calor em cada câmara da coluna de superaquecimento em função da pré-definição ou escolha da respectiva temperatura do vapor superaquecido. Os cálculos correspondentes serão efetuados com base em balanços de energia e nos métodos de dimensionamento empregados para a coluna de incineração e co-geração.

#### **15 - Critérios para determinar o poder calorífico dos descartes, dejetos, resíduos sólidos e fluidos queimados**

15           De acordo com o “Princípio da Conservação da Energia”, também conhecido como “Primeira Lei da Termodinâmica”, a energia é indestrutível, e a quantidade total de energia que entra num sistema deve ser exatamente igual a que sai mais aquela que se acumula dentro do sistema.

20           Uma expressão matemática ou numérica desse princípio é denominada de “Balanço de Energia”, que associado a um “Balanço Material” ou de massas tem importância fundamental nos problemas de projeto e operação de processo. É necessário distinguir entre “processo de escoamento de substância” e “processo sem escoamento de substância”, no qual não ocorre fluxo de material entrando ou saindo do sistema durante a operação. Um processo em regime  
25           permanente de escoamento envolve a constância de temperaturas e composições químicas em qualquer local do processo, ao contrário das variações das condições de temperatura e composição que ocorrem em processos descontínuos (batelada, “sem escoamento de substância”).

30           Num balanço de energia, as correntes de entrada são igualadas às de saída mais o acúmulo de energia dentro do sistema durante o período considerado de tempo num processo de escoamento ou para um dado ciclo de operação para um “processo sem escoamento de substância”. Nesses casos, são incluídas as seguintes formas de energia para uma determinada

massa de uma substância: a) interna, b) de escoamento, c) potencial, d) cinética, e) de superfície, f) térmica, g) trabalho executado pelo próprio sistema. Geralmente, são desprezados os termos das formas de energia eletrostática e magnética, exceto em casos de equipamentos ou processos que as utilizem.

5 A entalpia é uma propriedade termoquímica conveniente, e, embora tenha unidades de energia não pode ser considerada apenas como “energia”, pois é função da energia interna,  $U$ , de uma substância (fluida) e o produto “ $p.V$ ” que representa o “escoamento de energia por uma substância fluida”. Num sistema sem escoamento de substância a expressão “ $p.V$ ” representa simplesmente o produto de pressão e volume, possuindo as unidades de energia  
10 sem representar qualquer forma de energia.

Na maioria dos processos industriais envolvendo escoamento (a saber: caldeiras, alto-fornos siderúrgicos, reatores químicos, equipamentos ou colunas de destilação) os termos referentes a energia cinética, potencial e trabalho são desprezíveis e desprezados nos balanços de energia correspondentes, e as quantidades de calor envolvidas são equivalentes à entalpia.

15 De modo semelhante, em processos sem escoamento sob pressão constante onde são desprezíveis as formas de trabalho diferentes da de expansão, o calor adicionado é igual ao aumento de entalpia. Entretanto, onde as formas de energia cinética, potencial ou de trabalho devam ser consideradas, ou em processos sem escoamento sob volume constante, o aumento na entalpia não é igual ao calor adicionado.

20 De modo similar à energia interna, desconhece-se a existência de valores absolutos de entalpia para qualquer substância. A temperatura, a forma de agregação e a pressão do estado de referência devem ser especificamente definidas.

A expressão “balanço térmico” (em inglês, *heat balance*) refere-se a uma forma especial de balanço de energia que se tornou de uso genérico em todos os processos térmicos  
25 onde as variações de energia cinética, potencial e trabalho feito pelo sistema sejam desprezíveis. Para tais processos, os denominados “balanços térmicos” são aplicados aos processos de escoamento em qualquer pressão e para os processos sem escoamento sob pressão constate. Embora a expressão balanço térmico tenha sido adotada na literatura de Engenharia, é mais adequado usar a expressão “balanço de energia”, mesmo que os itens de  
30 energia cinética, potencial e trabalho sejam desprezíveis.

A entalpia absoluta ou teor de energia absoluto de uma substância é desconhecido. Entretanto, a entalpia de uma substância relativa a um estado de referência pode ser calculada

a partir de suas propriedades termodinâmicas, que podem ser arbitrariamente estabelecidas como 0°C, pressão atmosférica e o estado de agregação normalmente existente nessas condições de temperatura e pressão. O estado de referência para o vapor d'água é geralmente admitido como estado líquido sob a pressão de vapor de 4,58mm de mercúrio a 0°C. A entalpia relativa de uma substância é calculada como a variação de entalpia que ocorre durante a transição entre o estado de referência e as condições (operacionais) existentes. Isso significa que, sob pressão constante, o aumento na entalpia é igual ao calor absorvido. Comumente, sob pressões moderadas o efeito da pressão sobre a entalpia de líquidos e sólidos pode ser desprezado exceto quando as condições estiverem próximas do ponto crítico. As tabelas de vapor foram compiladas incluindo as entalpias e outras propriedades do vapor sob uma ampla variedade de condições, consideradas tanto para vapor saturado como para vapor superaquecido.

Todas as reações químicas são caracterizadas pela absorção ou pela liberação de energia, que usualmente se manifesta na forma de calor, no campo científico da Termoquímica. O calor de uma reação química é a quantidade de calor absorvida (ou liberada) no decorrer da reação, ou, de uma forma geral, é igual à variação na entalpia do sistema para a reação transcorrer na pressão constante. O calor de combustão de uma substância é o calor da reação resultante da sua oxidação com oxigênio. Para se estabelecer o calor de reação (ou combustão) é necessário especificar completamente a natureza e o estado de cada material envolvido. A menos que seja estabelecido de outra forma, considera-se que cada reagente ou produto é manipulado no seu estado normal de agregação na temperatura de 25°C e na pressão de 1 atm.

A entalpia de uma substância escoando num volume de controle é expressa em unidades apropriadas de energia, tal como a caloria, podendo ser determinada para um fenômeno ou processo que esteja ocorrendo num intervalo de tempo operacional estabelecido arbitrariamente.

Devido ao uso universal da combustão de substâncias combustíveis para gerar calor e energia elétrica, foram desenvolvidos métodos especiais para estabelecer os balanços material e de energia para tais processos. O poder calorífico de uma substância combustível é numericamente igual ao seu calor padrão de combustão. Essa propriedade é usualmente determinada através de ensaios experimentais diretos, sabendo-se que também existem métodos para calcular valores estimados a partir de sua composição química.

Dois métodos para expressar os valores de poder calorífico estão em uso rotineiro, diferindo quanto ao estado selecionado para a água presente no sistema após a combustão. Primeiro, o valor do poder calorífico total (*total heating value*) de uma substância combustível é o valor da quantidade de calor liberado na sua combustão completa na temperatura de 25°C sob pressão constante, quando toda a água inicialmente no estado líquido presente no combustível e aquela existente nos produtos de combustão seja condensada até o estado líquido. Segundo, o poder calorífico líquido (*net heating value*) é definido de modo semelhante, exceto que o estado final da água no sistema após a combustão seja o de vapor d'água a 25°C. O poder calorífico total (*total heating value*) é também denominado “superior” (ou, ainda, *gross heating value*), e o termo “líquido” (líquido ou, *net*) é também denominado “poder calorífico inferior” (*lower*). O poder calorífico inferior é obtido a partir do poder calorífico total quando se subtrai deste o valor do calor latente de vaporização a 25°C da água formada e vaporizada durante a combustão. O poder calorífico de uma substância combustível é medido por unidade de massa.

Para se elaborar a modelagem matemática referente à determinação do poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos queimados no calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno são adotados os seguintes critérios de projeto e operação para definir as condições de contorno pertinentes, admitindo-se que:

1º - em cada um dos ambientes operacionais ocorre um processo adiabático;

2º - as vazões mássicas de água e de gás não se alteram durante os processos de queima nas câmaras calorimétricas de incineração (2) e de pós-combustão (4);

3º - é desprezível a condensação ou formação de massas de condensado do vapor saturado ou superaquecido, ou ainda, liberadas pelos sólidos ou resíduos urbanos durante a queima, em cada um dos respectivos ambientes operacionais;

4º - a temperatura do ambiente externo ao aparato (completo) é constante durante sua operação;

5º - o calor retido pela massa reduzida das cinzas da câmara de incineração (2) é desprezível diante da soma dos calores de combustão liberados em cada processo de incineração e pós-combustão dos resíduos sólidos urbanos em tela e dos combustíveis queimados nos respectivos queimadores (23, 24) ;

Admite-se, também, que as câmaras calorimétricas de incineração (2), de pós-combustão (4) e de co-geração calorimétrica (6), integrantes da coluna de incineração e co-



geração, serão operadas para gerar vapor saturado.

O calor de combustão global liberado equivale à soma dos calores de combustão resultantes da ação dos queimadores e da incineração dos resíduos sólidos urbanos, durante o intervalo de tempo  $\Delta t$  da operação do equipamento, e pode ser expresso pela seguinte equação matemática:

$$\Delta H_{global} = \Delta H_{queima.combustíveis} + \Delta H_{incineração.resíduos} \quad [Eq. 1]$$

A operação do presente calorímetro conduzirá à determinação do valor do calor liberado durante a queima dos combustíveis, possibilitará o cálculo do calor de combustão dos resíduos sólidos urbanos incinerados através da seguinte expressão matemática:

$$\Delta H_{incineração} = \Delta H_{global} - \Delta H_{comb.queimadores} \quad [Eq. 2]$$

O aproveitamento da energia térmica resultante dos processos de queima dos combustíveis e da incineração dos resíduos sólidos urbanos para a geração de vapor saturado e vapor superaquecido pode ser expresso pela seguinte equação matemática:

$$\Delta H_{global} = \Delta H_{aquec} + \Delta H_{vap} + \Delta H_{superaq} + \Delta H_{emiss.gas.f} \quad [Eq. 3]$$

onde:

$\Delta H_{global}$  - Calor total fornecido ao fluido calorimétrico (água e vapor);

$\Delta H_{queima.combustíveis}$  - Calor total liberado na queima do combustível nos queimadores;

$\Delta H_{incineração.resíduos}$  - Calor liberado na queima da amostra de resíduos sólidos;

$\Delta H_{superaq}$  - Calor recebido pelo vapor saturado no superaquecedor;

$\Delta H_{emiss.gas.f}$  - Calor recebido para o aquecimento do ar primário dos queimadores suprido pelos gases de exaustão da seção de saída da coluna de superaquecimento (12);

$\Delta H_{aquec}$  - Calor consumido no aquecimento do fluido calorimétrico (água);

$\Delta H_{vap}$  - Calor consumido na vaporização do fluido calorimétrico (água).

Nas três câmaras de superaquecimento (9,10,11), da coluna de superaquecimento, a variação de entalpia do vapor ( $\Delta H_{sup}$ ) pode ser determinada a partir dos valores individuais das entalpias molares do vapor superaquecido, contidos em tabelas de vapor d'água (*steam tables*, de uso corriqueiro no âmbito das Engenharias Química, Mecânica e afins), conhecidas as suas temperaturas de entrada e saída na presente invenção de calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno para tratar descartes, dejetos e resíduos sólidos e coletar cinzas e escórias.

O calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno para tratar

descartes, dejetos e resíduos sólidos e coletar cinzas e escórias da presente invenção mede (no seu conjunto) o poder calorífico inferior da amostra de resíduos sólidos urbanos (lixo) queimada, que não considera o calor de condensação da água, pois se admite que esse fenômeno não ocorre durante o processo nas duas câmaras de incineração e na de co-geração, além das três câmaras de superaquecimento de vapor saturado.

Admite-se para o calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno que as temperaturas de saída das correntes de gases e vapor superaquecido variam com o tempo da queima da amostra de resíduos sólidos urbanos (lixo), sendo as mesmas registradas e monitoradas por termopares.

Admite-se, também, para o calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno que ao final do ensaio ou experimento de incineração ocorre uma diminuição da taxa de transferência de calor para o fluido calorimétrico, que resulta num decréscimo contínuo das temperaturas referentes ao interior das câmaras calorimétricas de incineração (2) de pós-combustão (4), até um determinado instante  $t$ , quando a temperatura interna se estabiliza e ocorre um estado estacionário resultante unicamente da ação dos queimadores (23, 24), enquanto estejam ligados. Essa condição indica aos operadores do aparato que pode ser interrompida a alimentação do combustível dos queimadores e o seu funcionamento (23, 24) e que deve ser reduzida a vazão de alimentação de água nos calorímetros, para que se mantenha a operação dos processos de troca térmica em regime permanente.

Para o acompanhamento do processo de incineração da amostra a ser queimada no calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno, admite-se que será necessário registrar graficamente os dados de temperaturas internas das câmaras e obter, durante a sua operação, as curvas de aquecimento referentes aos interiores das câmaras, empregando-se termopares adequados para indicar as temperaturas internas em diversos pontos do equipamento completo, cujos sinais elétricos serão convertidos em dispositivos adequados capazes de processar as informações em microcomputadores utilizando programas computacionais.

O calor consumido no aquecimento do fluido calorimétrico (água), ou a entalpia global relativa à etapa de aquecimento, no calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno, no intervalo operacional de tempo  $\Delta t$ , é determinado utilizando-se, como referência térmica, a temperatura de saturação da água na pressão de operação, conhecido o valor da sua temperatura de entrada no aparato, conforme exposto na equação seguinte sendo

a mesma válida para cada seção calorimétrica:

$$\Delta H_{aquec} = F \cdot \rho_1 \cdot \Delta t \cdot c_{p1} \cdot (T_{sat} - T_e) \quad [\text{Eq. 4}]$$

sendo:

$\Delta H_{aquec}$  - Calor consumido no aquecimento do fluido calorimétrico (água);

$F$  - vazão volumétrica de alimentação de água;

$\rho_1$  - densidade da água;

$\Delta t$  - intervalo de tempo da operação;

$c_{p1}$  - calor específico da água;

$T_{sat}$  - temperatura de saturação da água;

$T_e$  - temperatura da água de entrada.

O calor consumido, ou a entalpia de vaporização da água, no intervalo  $\Delta t$ , é determinado pela equação geral abaixo, considerando-se a vazão mássica de vapor igual a do líquido na alimentação de água, supondo, somente vapor na saída:

$$\Delta H_{vap} = F \cdot \rho_1 \cdot \Delta t \cdot L_1 \quad [\text{Eq. 5}]$$

sendo:

$\Delta H_{vap}$  - Calor consumido na vaporização do fluido calorimétrico (água);

$F$  - vazão volumétrica de água;

$\rho_1$  - densidade da água;

$\Delta t$  - intervalo de tempo da operação;

$L_1$  - calor latente de vaporização da água.

O valor determinado para o calor de combustão liberado na queima do gás combustível deve ser descontado do valor determinado do calor de combustão global para que seja efetuada a determinação do calor de combustão ou incineração dos resíduos sólidos urbanos. O calor de combustão do gás combustível deve ser determinado através da realização de um ensaio em branco, no qual apenas os queimadores (23, 24) estejam realizando suas respectivas queimas, sem que o aparato tenha sido alimentado com outras substâncias adicionais. Após o início da operação em branco, espera-se que o sistema alcance o equilíbrio térmico e mede-se a temperatura de saída da água que não mais varia.

O valor do calor de combustão do combustível em todos os queimadores pode ser calculado pela equação abaixo, válida para cada seção considerada:

$$\Delta H_{gás} = F \cdot \rho_1 \cdot \Delta t \cdot c_{p1} \cdot (T_s - T_e) \quad [\text{Eq. 6}]$$

sendo:

$\Delta H_{gás}$  - Calor de combustão disponibilizado pela queima do gás combustível;

$F$  - vazão volumétrica de água

$\rho_l$  - densidade da água;

5  $\Delta t$  - intervalo de tempo de operação;

$T_e$  - temperatura da água de entrada.

$T_s$  - temperatura da água na saída.

O calor ou a entalpia consumida no superaquecimento do vapor saturado injetado nas câmaras de superaquecimento, é determinado pela seguinte equação, sendo o valor da entalpia molar para uma dada temperatura, obtida nas tabelas de vapor de água:

$$\Delta H_{supera} = \frac{F \cdot \rho_l \cdot \Delta t \cdot \overline{\Delta H}_{superaq}}{18} \quad [\text{Eq. 7}]$$

onde:

$\Delta H_{superaq}$  - Calor recebido pelo vapor saturado no superaquecedor;

$F$  - vazão volumétrica de água;

15  $\rho_l$  - densidade da água;

$\Delta t$  - intervalo de tempo da operação;

$\overline{\Delta H}_{sup}$  - Variação da entalpia molar para o superaquecimento do vapor, conhecidas as temperaturas de entrada e saída do vapor no superaquecedor considerado.

Conhecidas as temperaturas de saída do vapor saturado da seção da câmara calorimétrica de incineração (2), seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4), e câmara de co-geração calorimétrica (6) que são iguais as de entrada das câmaras de superaquecimento (9,10,11), os valores das variações das entalpias molares do vapor superaquecido podem ser obtidas pelas tabelas de vapor de água para cada uma das temperaturas de saída das respectivas câmaras de superaquecimento (9,10,11).

25 As temperaturas das correntes de saída de vapor superaquecido das câmaras de superaquecimento (42,43,44) serão diferentes durante o intervalo  $\Delta t$  de operação de queima dos resíduos cujo poder calorífico estará sendo determinado. Será necessário empregar termopares adequados para indicar as temperaturas de saída das correntes de vapor superaquecido em diversos pontos da respectiva coluna e registrar graficamente os dados de 30 temperaturas de saída das correntes de vapor superaquecido, para, então, se calcular ao final do intervalo  $\Delta t$  de operação um valor médio, através do uso de métodos numéricos e de

recursos computacionais.

A entalpia na câmara calorimétrica de incineração (2) é calculada pela equação geral (Eq.1), conforme mostrado abaixo:

$$\Delta H_1 = [F_1 \cdot \rho_1 \cdot \Delta t \cdot c_{p1} \cdot (T_{s1} - T_{e1})]^{aquec1} + [F_1 \cdot \rho_1 \cdot \Delta t \cdot L_1]^{vap1} \quad [\text{Eq. 8}]$$

5 onde:

$\Delta H_1$  - Energia fornecida pelos resíduos (lixo) e pelos queimadores ao fluido calorimétrico da camisa ou parede de tubos de água da câmara calorimétrica de incineração (30) no intervalo de operação  $\Delta t$

10  $T_{e2}$  - temperatura de entrada de água na camisa ou parede de tubos de água da câmara calorimétrica de pós-combustão (34)

$T_{s2}$  - temperatura no bocal de saída de vapor saturado da câmara calorimétrica de pós-combustão (38)

$F2$  - vazão volumétrica de água na camisa ou parede de tubos de água da câmara seção calorimétrica de pós-combustão (31)

15  $F1$  - vazão volumétrica de água na camisa ou parede de tubos de água da seção câmara calorimétrica de incineração (30)

$\rho_1$  - densidade da água

$\Delta t$  - intervalo de tempo

$C_{p1}$  - calor específico da água

20  $L_1$  - calor latente de vaporização da água

A entalpia na câmara calorimétrica de pós-combustão (4) é calculada pela equação geral (Eq.1), conforme mostrado abaixo:

$$\Delta H_2 = [F_2 \cdot \rho_1 \cdot \Delta t \cdot c_{p1} \cdot (T_{s2} - T_{e2})]^{aquec2} + [F_2 \cdot \rho_1 \cdot \Delta t \cdot L_1]^{vap2} \quad [\text{Eq. 9}]$$

onde:

25  $\Delta H_2$  - Energia fornecida pelos resíduos (lixo) e pelos queimadores ao fluido calorimétrico da camisa ou parede de tubos de água da câmara calorimétrica de pós-combustão (31) no intervalo de operação  $\Delta t$

$T_{e2}$  - temperatura de entrada de água na camisa ou parede de tubos de água da seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (34)

30  $T_{s2}$  - temperatura no bocal de saída de vapor saturado da câmara calorimétrica de pós-combustão (38)

$F_2$  - vazão volumétrica de água na camisa ou parede de tubos de água da câmara seção calorimétrica de pós-combustão (31)

$\rho_l$  - densidade da água

$\Delta t$  - intervalo de tempo

5  $C_{pl}$  - calor específico da água

$L_l$  - calor latente de vaporização da água

A entalpia na câmara de co-geração calorimétrica (6) considerando o período de aquecimento é calculada pela equação geral (Eq.10), conforme mostrado abaixo:

$$\Delta H_3 = [F_3 \cdot \rho_l \cdot \Delta t \cdot c_{pl} \cdot (T_{s3} - T_{e3})]^{aquec.3} + [F_3 \cdot \rho_l \cdot \Delta t \cdot L_l]^{vap3} \quad [\text{Eq.10}]$$

10 sendo:

$\Delta H_3$  – Energia fornecida pelos gases de combustão ao fluido calorimétrico na câmara de co-geração calorimétrica (6) no intervalo de operação  $\Delta t$

$T_{e3}$  - temperatura de entrada de água na câmara de co-geração calorimétrica (35)

15  $T_{s3}$  - temperatura no bocal de saída de vapor saturado da câmara de co-geração calorimétrica (40)

$F_3$  - vazão volumétrica de água na câmara de co-geração calorimétrica (6)

$\rho_l$  - densidade da água

$\Delta t$  - intervalo de tempo

$C_{pl}$  - calor específico da água

20  $L_l$  - calor latente de vaporização da água

O intervalo de tempo total ( $\Delta t_{\text{total}}$ ) de incineração começa na partida dos queimadores  $t_0$ , até o início do resfriamento  $t_{\text{final}}$  do vapor que pode ser observado através da curva de aquecimento plotada.

25 O poder calorífico dos resíduos queimados é obtido pela soma das energias cedidas ao fluido calorimétrico nos seis calorímetros das duas colunas, descontado o calor cedido pelos queimadores, divididas pela massa queimada como mostrado abaixo:

$$\Delta H_{\text{comb}} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_{\text{sup4}} + \Delta H_{\text{sup5}} + \Delta H_{\text{sup6}} - \Delta H_{\text{gás1}} - \Delta H_{\text{gás2}} \quad [\text{Eq.11}]$$

$$\Delta H_{\text{inf}} = \frac{\Delta H_{\text{comb}}}{M} \quad [\text{Eq.12}]$$

onde:

30  $M$  = massa de lixo total – massa residual

$\Delta H_1$  - Energia fornecida pelos resíduos (lixo) e pelos queimadores ao fluido calorimétrico da camisa ou parede de tubos de água da câmara calorimétrica de incineração (30) no intervalo de operação  $\Delta t$

5  $\Delta H_2$  - Energia fornecida pelos resíduos (lixo) e pelos queimadores ao fluido calorimétrico da camisa ou parede de tubos de água da câmara calorimétrica de pós-combustão (31) no intervalo de operação  $\Delta t$

$\Delta H_3$  - Energia fornecida pelos gases de combustão ao fluido calorimétrico na câmara de co-geração calorimétrica (6) no intervalo de operação  $\Delta t$

10  $\Delta H_{sup4}$  - Energia cedida ao fluido calorimétrico (vapor), por troca térmica com os gases de combustão, para aquecimento do vapor da câmara de superaquecimento superior (9)

$\Delta H_{sup5}$  - Energia cedida ao fluido calorimétrico (vapor), por troca térmica com os gases de combustão, para aquecimento do vapor da câmara de superaquecimento intermediária (10)

15  $\Delta H_{sup6}$  - Energia cedida ao fluido calorimétrico (vapor), por troca térmica com os gases de combustão, para aquecimento do vapor da câmara de superaquecimento inferior (11)

$\Delta H_{gás1}$  - Energia fornecida pela queima do gás combustível dos queimadores da seção da câmara calorimétrica de incineração (2)

$\Delta H_{gás2}$  - Energia fornecida pela queima do gás combustível dos queimadores da seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (4)

20  $\Delta H_{inf}$  - Poder calorífico dos resíduos sólidos úmidos.

#### **16 - Algoritmo para os ensaios e cálculos referentes ao uso do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno**

Para a realização das determinações calorimétricas experimentais, poderão ser executados os seguintes procedimentos operacionais e matemáticos:

25 1. Opera-se o calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno vazio, para se determinar experimentalmente o calor de combustão (ou poder calorífico real) liberado pelos gases combustíveis nos queimadores da coluna de incineração e co-geração, medindo-se as temperaturas nas entradas e saídas das diversas seções e câmaras e as pressões operacionais correspondentes às correntes de entrada e saída de vapor d'água nos locais  
30 convenientes.

2. Pelo emprego de uma balança gravimétrica adequada, mede-se a massa de uma amostra de resíduos sólidos (lixo) com a sua embalagem, pois ambos serão incinerados.

3. Após o resfriamento do conjunto do calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno procede-se à separação da câmara calorimétrica de incineração (2) do conjunto superior das câmaras calorimétricas de pós-combustão (4) e co-geração, e insere-se uma amostra embalada dos resíduos sólidos (lixo) pela parte sua superior, depositando-a sobre a grelha inferior (27) que fica acima do cinzeiro (14).

4. Acende-se, inicialmente, as chamas dos queimadores (24) da câmara calorimétrica de pós-combustão (4) coluna de incineração e co-geração.

5. Acende-se, em seguida, as chamas dos queimadores (23) da câmara calorimétrica de incineração (2) da coluna de incineração e co-geração.

6. Antes e durante os ciclos de queima registram-se os dados das vazões de água de alimentação e do ar de combustão, das temperaturas das emissões gasosas, da água e vapor saturado produzido escoando nas câmaras calorimétricas e as pressões de vapor d'água nelas produzidas.

7. O ciclo de queima poderá ser concluído após ocorrerem valores de temperaturas máximas das emissões gasosas e os seus decaimentos até os níveis correspondentes à operação em vazio do conjunto, citado no item 1 acima, quando deverão ser desligados os queimadores (23, 24) e se proceder ao o resfriamento complementar do calorímetro compostos de incineração e co-geração.

### **17 - Conclusões**

Por fim, pode-se dizer que o calorímetro incinerador co-gerador de vapor com ciclone interno da presente invenção apresenta a vantagem de ser facilmente empregável em comunidades, municipalidades de população reduzida, hospitais, casas de saúde, centros comerciais, indústrias diversas, aeroportos, terminais rodoviários e portuários, etc para que se possa tratar seus descartes, dejetos e resíduos sólidos e coletar cinzas e escórias a fim de:

(1º) incinerar de forma segura os descartes antes do seu transporte, por exemplo, para aterros sanitários;

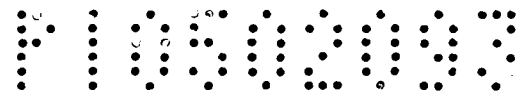
(2º) gerar vapor d'água com finalidade de aquecimento de fluidos (a) para equipamentos diversos ou uso doméstico, (b) ambientes internos de edificações, (c) esterilização, e (d) consumo em unidades termoelétricas, referentes a instalações de escala semi-industrial ou pequeno porte, com possibilidades de se otimizar o tipo de vapor (saturado ou superaquecido) com relação à capacidade instalada; e

(3º) sendo o transporte de resíduos perigosos diminuído, serão também reduzidos os



riscos ambientais e despesas advindas de sinistros e catástrofes resultantes de suas possíveis agressões ao meio ambiente no percurso ou decorrentes da destinação inadequada ou improvisada de resíduos sólidos urbanos, industriais, rurais ou de outra origem (como ainda é possível constatar em vários casos).

- 5 Os versados na arte apreciarão que pequenas modificações na forma de realizar a invenção devem ser compreendidas como dentro do escopo da presente invenção e das reivindicações anexas.



### REIVINDICAÇÕES

1) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO caracterizado por compreender, pelo  
5 menos, duas colunas calorimétricas paralelas cilíndricas, interligadas por flanges (21) no topo e lateralmente por conexões ou flanges das linhas de vapor (22) entre as mesmas, incluindo na primeira coluna seções calorimétricas para incineração, pós-queima de emissões gasosas e co-  
10 geração de vapor, e um cinzeiro interno para cinzas cadentes e escórias (14), e, possuindo na segunda coluna seções calorimétricas de superaquecimento para as correntes de vapor oriundas da primeira coluna, e um ciclone interno para remover partículas sólidas dos gases  
que entram nesta, e que são descarregadas num cinzeiro externo para cinzas volantes (16).

2) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser formado por conjuntos monoblocos e seções removíveis, acoplados  
15 entre si por flanges (21) aparafusadas, podendo operar a fluxo constante e em condição termodinâmica adiabática.

3) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado por incluir meios e instrumentação para determinar os parâmetros operacionais  
20 dos processos que serão empregados no algoritmo de cálculo do poder calorífico dos materiais e fluidos incinerados e das entalpias referentes à produção de vapor saturado e de vapor superaquecido e do calor recuperado para o pré-aquecimento do ar de combustão e da água de alimentação do equipamento.

4) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado por possuir duas câmaras de queima, a primeira para os sólidos e fluidos,  
25 úmidos e secos a serem incinerados, em temperaturas maiores que 600°C, preferencialmente acima de 1000°C, e a segunda para pós-queimar os gases resultantes da primeira sob temperatura igual ou superior a 1200°C, incluindo dois queimadores (23,24) em cada uma das  
30 duas câmaras, direcionados para o interior de cada câmara com a inclinação de 30° a 60° em relação à base horizontal do equipamento, os quais visam garantir a queima completa das

substâncias.

5) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com as reivindicações 1 a 4, **caracterizado** pelo fato de a primeira câmara de queima ser de incineração e a segunda de pós-combustão dos gases emitidos pela anterior, que está acoplada a um trocador de calor flamatubular para receber as emissões gasosas totais emitidas nas duas câmaras de queima e que constitui uma câmara de co-geração calorimétrica (6) para medir a capacidade calorífica dos gases de combustão passantes no interior do trocador de calor.

6) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com as reivindicações 1 a 5, **caracterizado** por possuir uma coluna calorimétrica de incineração e co-geração composta de cinco partes distintas, sendo a primeira um conjunto incinerador-calorimétrico inferior e de coleta de cinzas cadentes e escórias, dividido em: seção da coleta de cinzas (1), e seção da câmara calorimétrica de incineração (2); a segunda parte formada por um conjunto incinerador-calorimétrico secundário, dividido em seção da garganta inferior (3) para emissões gasosas primárias, e seção da câmara-calorimétrica de pós-combustão (4); a terceira formada pela seção da garganta intermediária (5); a quarta parte constituída pela seção da câmara de co-geração calorimétrica (6); e a quinta parte correspondendo à seção de saída das emissões gasosas totais (7).

7) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com as reivindicações 1 a 3, **caracterizado** por possuir uma coluna de superaquecimento composta de cinco partes distintas, sendo a primeira parte uma câmara de entrada da coluna de superaquecimento (8) contendo o ciclone interno e superior da coluna de superaquecimento (15); a segunda parte formada por uma câmara de superaquecimento superior (9); a terceira parte constituída por uma câmara de superaquecimento intermediária (10); a quarta parte correspondendo a uma câmara de superaquecimento inferior (11); e a quinta parte referente à seção de saída das emissões gasosas da coluna de superaquecimento (12) em curva de noventa graus, a qual incluirá uma serpentina de aquecimento do ar primário para os queimadores (54) e uma serpentina de aquecimento de água (13).

8) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E

SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com reivindicações 1, 6 e 7, **caracterizado** por compreender meios para o recolhimento de cinzas cadentes ou escórias e cinzas volantes resultantes das diversas amostras (ou lotes de rejeitos, descartes, dejetos e resíduos sólidos a incinerar) para estudos complementares do seu aproveitamento em tecnologias cerâmicas, de compósitos e correlatas.

9) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com as reivindicações 1 a 7, **caracterizado** por conter seis calorímetros individuais, sendo três acoplados verticalmente na coluna de incineração e co-geração, referentes a: seção da câmara calorimétrica de incineração (2); seção da câmara-calorimétrica de pós-combustão (4); e câmara de co-geração calorimétrica (6), e três acoplados verticalmente na coluna de superaquecimento, a saber: câmara de superaquecimento inferior (11); câmara de superaquecimento intermediária (10); e câmara de superaquecimento superior (9).

10) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com as reivindicações 1 a 4, **caracterizado** pela seção da câmara calorimétrica de incineração (2) e seção da câmara calorimétrica de pós-combustão, que são circundadas por duas camisas calorimétricas distintas: a camisa da seção da câmara calorimétrica de incineração (30) e camisa da seção da câmara calorimétrica de pós-combustão (31); a primeira para realizar a determinação do poder calorífico da amostra a ser queimada e a segunda para determinar o conteúdo térmico dos gases emitidos na seção da câmara calorimétrica de incineração (2).

11) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com as qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** por gerar vapor superaquecido a partir das correntes de vapor saturado oriundas da coluna calorimétrica de incineração e co-geração transmitidas por linhas de vapor específicas que interligam lateralmente a seção da câmara calorimétrica de incineração (2); a seção da câmara-calorimétrica de pós-combustão (4); e a câmara de co-geração calorimétrica (6) com as câmaras de superaquecimento (11,10,9) e que permitem realizar diversas combinações de correntes de vapor saturado para maximizar ou variar os títulos de vapor superaquecido, de acordo com as demandas do usuário.

12) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E

SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com as reivindicações 1, 2, 4, 6 e 8, **caracterizado** por conter internamente na base de sua coluna calorimétrica de incineração e co-geração um sistema de coleta de cinzas, formado por uma seção de coleta das cinzas (1) que contém um cinzeiro interno para cinzas e escórias (14) refratário descartável, de formato cilíndrico, sobre o qual é apoiada uma grelha inferior (27), que possui um anel externo vedado a qual permite que seja apoiado sobre a borda do cinzeiro interno para cinzas e escórias (14), e possibilita a passagem das cinzas e escórias resultantes da incineração pela sua abertura central, de forma que se depositem preferencialmente no interior do cinzeiro interno para cinzas e escórias (14).

10            13) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com as reivindicações 1, 2, 4 e 6, **caracterizado** por conter na base de sua coluna calorimétrica de incineração e co-geração, injetores de ar secundário da seção da câmara calorimétrica de incineração (25), para combustão primária, que atravessam a base da seção de coleta de cinzas (1) sob o cinzeiro  
15            interno para cinzas e escórias (27) ascendendo paralelamente a sua superfície lateral externa.

              14) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com as reivindicações 1, 2, 4, 6 e 13, **caracterizado** por possuir internamente na base de sua coluna calorimétrica de incineração e co-geração uma seção de coleta de cinzas (1) cuja superfície interna da base é  
20            constituída por uma camada de material refratário rígido (19) que contem saliências externas que formam suporte de apoio ao cinzeiro interno para cinzas e escórias (14) e permite que o ar secundário injetado abaixo deste ascenda pelo espaço entre este e a superfície interna da camada de material refratário rígido (19), direcionado para a seção da câmara calorimétrica de incineração (2).

25            15) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO, de acordo com as reivindicações 1, 2, 4, 6 e 8, **caracterizado** por incluir na base de sua coluna calorimétrica de incineração e co-geração um sistema para remoção e recolocação da grelha inferior (27) e do cinzeiro interno para cinzas e escórias (14) do conjunto monobloco inferior de incineração, calorimetria e  
30            coleta de cinzas e escórias da coluna calorimétrica de incineração e co-geração pelo uso manual de ganchos metálicos de diâmetro variando entre 3 mm e 50 mm, e comprimento

mínimo de 35 cm compatível com a profundidade da câmara calorimétrica de incineração (2).

16) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com as reivindicações 1, 2 e 7, **caracterizado** por incorporar uma segunda coluna para superaquecimento do vapor saturado produzido na coluna calorimétrica de incineração e co-geração e por incluir um ciclone interno e superior da coluna de superaquecimento (15) capaz de separar uma fração das cinzas volantes, que é conduzida, por meio de um tubo interno concêntrico a torre de superaquecimento, para depósito em um cinzeiro situado em sua parte inferior.

17) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO, de acordo com as reivindicações 1, 2 e 7, **caracterizado** por um sistema de pré-aquecimento do ar primário para os queimadores (23,24), que passa pelo interior de uma colméia ou serpentina de aquecimento do ar primário para os queimadores (54) específica, e, também, caracterizado por um sistema de pré-aquecimento da água de alimentação, que passa pelo interior de uma colméia ou serpentina de aquecimento de água (13) própria, para alimentar simultaneamente a camisa da seção da câmara calorimétrica de incineração (30); a camisa da seção da câmara-calorimétrica de pós-combustão (31), e o trocador flamotubular da câmara de co-geração calorimétrica (32) da câmara de co-geração calorimétrica (6), sendo ambos os sistemas situados na saída do duto da seção de saída das emissões gasosas da coluna de superaquecimento (12), trocando calor com as emissões quentes.

18) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com as reivindicações 1, 2 e 7, **caracterizado** por conter um duto de descarga das cinzas volantes (49), paralelo e interno às câmaras que permite um escoamento descendente das emissões gasosas e das cinzas sem que haja contato direto entre ambas.

19) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com as reivindicações 1 a 5, **caracterizado** por possuir uma coluna calorimétrica de incineração e co-geração composta de cinco partes distintas, sendo a primeira um conjunto incinerador-calorimétrico inferior e de coleta de cinzas cadentes e escórias, dividido em: seção da coleta de cinzas (1) possuindo um diâmetro interno igual ou maior que 20cm e altura igual ou maior que 15cm, e seção da

câmara calorimétrica de incineração (2) também com diâmetro interno igual ou maior que 20cm e altura igual ou maior que 25cm; a segunda parte formada por um conjunto incinerador-calorimétrico secundário, dividido em seção da garganta inferior (3) para emissões gasosas primárias, e seção da câmara-calorimétrica de pós-combustão (4); a terceira  
5 formada pela seção da garganta intermediária (5); a quarta parte constituída pela seção da câmara de co-geração calorimétrica (6); e a quinta parte correspondendo à seção de saída das emissões gasosas totais (7), e medindo, pelo menos, 35cm na face horizontal superior do topo da coluna entre a superfície externa vertical da coluna e a flange (21) do topo.

20) CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E  
10 SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO de acordo com as reivindicações 1 a 3, **caracterizado** por possuir uma coluna de superaquecimento composta de cinco partes distintas, sendo a primeira parte uma câmara de entrada da coluna de superaquecimento (8), e contendo o ciclone interno e superior da coluna de superaquecimento (15) cujo diâmetro nominal do tubo de alimentação mede, pelo menos, 10cm, e cujo diâmetro externo do seu  
15 corpo cilíndrico mede, pelo menos, 10cm, inserido no espaço cilíndrico com diâmetro interno mínimo de 15cm e altura mínima de 20cm correspondente à câmara de entrada da coluna de superaquecimento (8); a segunda parte formada por uma câmara de superaquecimento superior (9) também possuindo um diâmetro interno mínimo de 15cm e altura mínima de 25cm; a terceira parte constituída por uma câmara de superaquecimento intermediária (10)  
20 que também possui um diâmetro interno mínimo de 15cm e altura mínima de 25cm; a quarta parte correspondendo a uma câmara de superaquecimento inferior (11) que possui um diâmetro interno mínimo de 15cm e altura mínima de 25cm; e a quinta parte referente à seção de saída das emissões gasosas da coluna de superaquecimento (12) em curva de noventa graus, com diâmetro interno mínimo de entrada de 15cm que irá se estreitar até uma saída  
25 com um diâmetro mínimo de 10cm, a qual incluirá uma serpentina de aquecimento do ar primário para os queimadores (54) e uma serpentina de aquecimento de água (13).

21) PROCESSO PARA TRATAR DESCARTES, DEJETOS, RESÍDUOS SÓLIDOS E FLUIDOS E COLETAR CINZAS E ESCÓRIAS, **caracterizado** por utilizar um calorímetro incinerador co-gerador de vapor e superaquecedor com ciclone interno que  
30 executa as etapas de incineração e pós-combustão, seguidas de co-geração de vapor, remoção de partículas em suspensão contidas nas emissões gasosas por separação centrífuga, superaquecimento do vapor já produzido e coleta interna de cinzas cadentes e escórias e

coleta externa de cinzas volantes, e que compreende, pelo menos, de duas colunas calorimétricas paralelas cilíndricas, interligadas por flanges (21) no topo e lateralmente por conexões ou flanges das linhas de vapor (22) entre as mesmas, que inclui, na primeira coluna, seções calorimétricas para incineração, pós-queima de emissões gasosas e co-geração de vapor, e um cinzeiro interno para cinzas cadentes e escórias (14), e, possui, na segunda coluna, seções calorimétricas de superaquecimento para as correntes de vapor oriundas da primeira coluna, e um ciclone interno para remover partículas sólidas dos gases que entram nesta, e são descarregadas num cinzeiro externo para cinzas volantes (16).

22) PROCESSO PARA TRATAR DESCARTES, DEJETOS, RESÍDUOS SÓLIDOS E FLUIDOS DE QUALQUER ORIGEM E PARA COLETAR CINZAS E ESCÓRIAS, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado** por utilizar um calorímetro incinerador co-gerador de vapor e superaquecedor com ciclone interno da presente invenção, compreendendo, pelo menos, duas colunas calorimétricas interligadas por flanges (21) no topo e lateralmente por conexões ou flanges das linhas de vapor (22), podendo operar a fluxo constante e adiabático.

23) PROCESSO PARA TRATAR DESCARTES, DEJETOS, RESÍDUOS SÓLIDOS E FLUIDOS E COLETAR CINZAS E ESCÓRIAS que inclui a co-geração e o superaquecimento de vapor d'água, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado** por utilizar um calorímetro incinerador co-gerador de vapor e superaquecedor com ciclone interno da presente invenção, compreendendo, pelo menos, duas colunas calorimétricas interligadas por flanges (21) no topo e lateralmente por conexões ou flanges das linhas de vapor (22), podendo operar a fluxo constante e adiabático.

24) PROCESSO PARA TRATAR DESCARTES, DEJETOS, RESÍDUOS SÓLIDOS E FLUIDOS E COLETAR CINZAS E ESCÓRIAS de acordo com a reivindicação 21, para serem reciclados em indústrias fabricantes de materiais de construção e produtos químicos, com vistas a gerar a sua própria sustentabilidade ou minimizar a formação de passivos ambientais, inertes ou de risco remanescente, **caracterizado** por utilizar um calorímetro incinerador co-gerador de vapor e superaquecedor com ciclone interno da presente invenção, compreendendo, pelo menos, duas colunas calorimétricas interligadas por flanges (21) no topo e lateralmente por conexões ou flanges das linhas de vapor (22), podendo operar a fluxo constante e adiabático.

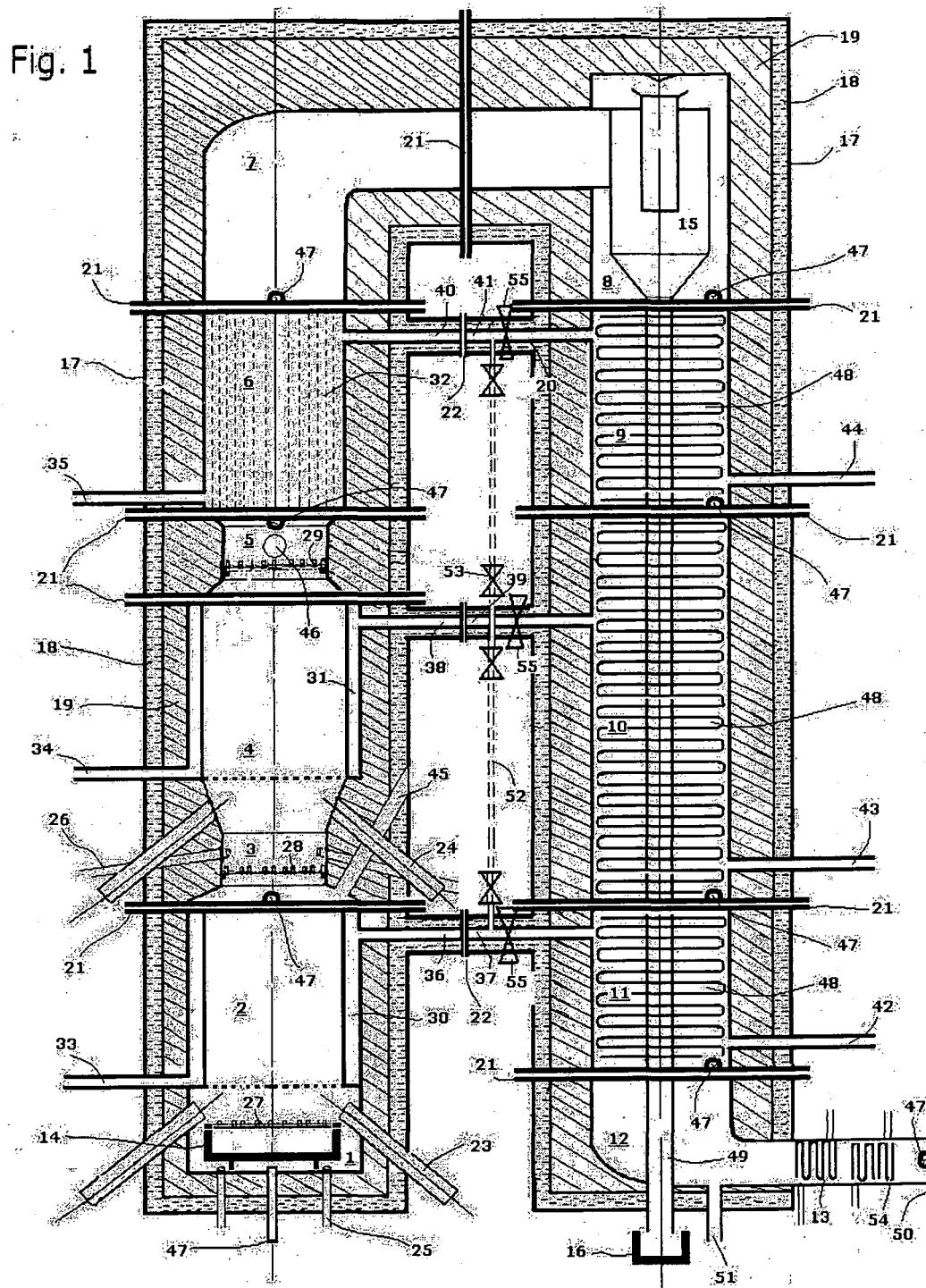


25) PROCESSO PARA TRATAR DESCARTES, DEJETOS, RESÍDUOS SÓLIDOS E FLUIDOS E COLETAR CINZAS E ESCÓRIAS, de acordo com a reivindicação 21, que inclui a despoluição das suas próprias emissões gasosas, **caracterizado** por utilizar um calorímetro incinerador co-gerador de vapor e superaquecedor com ciclone interno, que  
5 incorpora um ciclone interno e superior da coluna de superaquecimento (15).

26) PROCESSO PARA TRATAR DESCARTES, DEJETOS, RESÍDUOS SÓLIDOS E FLUIDOS E COLETAR CINZAS E ESCÓRIAS, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado** por utilizar um calorímetro incinerador co-gerador de vapor e superaquecedor com ciclone interno da presente invenção, empregado para a determinação do poder calorífico  
10 de materiais sólidos e fluidos compreendendo, pelo menos, duas colunas calorimétricas interligadas por flanges (21) no topo e lateralmente por conexões ou flanges das linhas de vapor (22), podendo operar a fluxo constante e adiabático.

27) PROCESSO PARA TRATAR DESCARTES, DEJETOS, RESÍDUOS SÓLIDOS E FLUIDOS E COLETAR CINZAS E ESCÓRIAS, de acordo com as reivindicações 21 a 26, **caracterizado** por ser aplicável a qualquer tipo de descartes, dejetos e resíduos sólidos  
15 oriundos de logradouros públicos ou instalações específicas tais como: usinas de triagem ou beneficiamento de lixo, estações rodoviárias, ferroviárias, portuárias, instalações hospitalares, militares, laboratoriais, industriais ou comerciais, em cooperativas e comunidades urbanas e rurais, carentes e desenvolvidas, e para atividades de pesquisas científicas e tecnológicas.

Figura 1



**RESUMO**

**CALORÍMETRO INCINERADOR CO-GERADOR DE VAPOR E  
SUPERAQUECEDOR COM CICLONE INTERNO E PROCESSO PARA TRATAR  
5 DESCARTES, DEJETOS, RESÍDUOS SÓLIDOS E FLUIDOS E COLETAR CINZAS  
E ESCÓRIAS**

A presente invenção se refere a um equipamento termoquímico, composto de conjuntos monoblocos e seções removíveis, versátil, descrito pela Figura 1, possuindo, pelo  
10 menos, duas colunas calorimétricas interligadas por flanges (21) no topo e lateralmente por conexões ou flanges das linhas de vapor (22); a primeira delas para incinerar descartes, dejetos, resíduos sólidos e fluidos de qualquer origem, pós-queimar suas emissões gasosas e co-gerar vapor d'água para fins de aquecimento, esterilização e termoeletrônicos; a segunda  
15 coluna para superaquecer o vapor oriundo da anterior e retirar partículas suspensas nos gases, ambas possibilitando a coleta das escórias e cinzas cadentes e volantes para reciclagem em materiais de construção e produtos químicos, sendo útil em usinas de lixo, estações rodoviárias, ferroviárias, portuárias, instalações hospitalares, militares, laboratoriais, industriais ou comerciais, comunidades urbanas e rurais, carentes e desenvolvidas, e para pesquisas científicas e tecnológicas, e que possui características construtivas típicas de  
20 incineradores, caldeiras, autoclaves e ciclones comerciais, em qualquer escala operacional, que possibilita determinar o poder calorífico de materiais e fluidos nele queimados; e garantir a queima completa dos descartes, dejetos e resíduos sólidos e fluidos, para reduzir os riscos da liberação de emissões gasosas nocivas.